



SKRIPSI ME 141501

**UJI EKSPERIMEN RESPON GERAKAN PONTON  
TRIMARAN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA  
GELOMBANG**

Teuku Rachmattr Arvisa  
NRP. 04211440000073

Dosen Pembimbing I  
Irfan Syarif Arief, ST., MT.

Dosen Pembimbing II  
Achmad Baidowi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



SKRIPSI ME – 141501

## **UJI EKSPERIMEN RESPON GERAKAN PONTON TRIMARAN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG**

Teuku Rachmattrra Arvisa  
NRP. 04211440000073

Dosen Pembimbing I  
Irfan Syarif Arief, ST., MT.

Dosen Pembimbing II  
Achmad Baidowi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



BACHELOR THESIS ME - 141501

**TEST EXPERIMENT OF MOTION RESPONSE ON  
TRIMARAN PONTON FOR WAVE ENERGY  
CONVERTERS**

Teuku Rachmattr Arvisa  
NRP. 04211440000073

Supervisor I  
Irfan Syarif Arief, ST., MT.

Supervisor II  
Achmad Baidowi, ST., MT.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018

**HALAMAN DEPAN**

(ME141501)

---



**UJI EKSPERIMEN RESPON GERAKAN PONTON TRIMARAN  
UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG**

Teuku Rachmattr Arvisa (04211440000073)

Dosen Pembimbing :  
Irfan Syarif Arief, ST., MT.  
Ahmad Baidowi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### **Eksperimen Respon Gerak Ponton Trimaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design (MMD)  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Teuku Rachmattrra Arvisa**  
NRP 04211440000073

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

**Irfan Syarif Arief, ST., MT**  
NIP. 1969 1225 1997 02 1001

**Achmad Baidowi, ST., MT**  
NIP.



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

### UJI EKSPERIMEN RESPON GERAKAN PONTON TRIMARAN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Manufacturing and Design  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**TEUKU RACHMATTRA ARVISA**

NRP. 04211440000073

Disetujui Oleh  
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



**Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.**

NIP. 197708022008011007

Surabaya,  
Agustus 2018



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Kata Pengantar**

Segala Puji Syukur kehadiran ALLAH SWT dan Nabi Besar Agung Muhammad ﷺ. atas selesainya pengerjaan dan penulisan Skripsi dengan judul “Uji Eksperimen Respon Gerakan Ponton Trimaran untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang”. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penulisan:

1. Ibu terbaik sedunia Ari Kartikawanti Munandar, Mas Anugerah Kandatra, Mas Nuraksatra Nadhif selaku keluarga yang selalu menemani dan mensupport saya.
2. Keluarga besar Alm. H. Imam Munandar dan Almh. Sri Mudjinab
3. Bapak Dr-Ing. M. Badrus Zaman, ST., MT. Selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak Irfan Syarif Arief, ST., MT. dan Bapak Ahmad Baidowi, ST., MT. selaku pembimbing penulis atas segala jasanya membimbing dengan penuh kesabaran dan keikhlasan.
5. Tim PUPT Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc., Ph.D. , Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST. MT., Bapak Irfan Syarif Arief, ST., MT. serta Bapak Juniarko Prananda, ST. MT. Penulis banyak terima kasih atas segala didikan, ajaran untuk menjadi peneliti muda
6. Keluarga Civitas akademika Departemen Teknik Sistem Perkapalan, seluruh anggota HIMASISKAL dan MMD Lambe Turah
7. Penulis berterima kasih juga kepada mahasiswa berinisial AS

## ABSTRAK

# UJI EKSPERIMEN RESPON GERAKAN PONTON TRIMARAN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG

Nama Mahasiswa : Teuku Rachmattr A  
NRP : 04211440000073  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan - ITS  
Dosen Pembimbing : 1. Irfan Syarif A., S.T., M.T.  
2. Ahmad Baidowi, ST., M.T.

### *Abstrak*

Energi gelombang laut merupakan jenis energi terbarukan yang paling melimpah di Indonesia sendiri adalah energi gelombang. Alat yang digunakan untuk mengkonversi energi gelombang laut menjadi energi listrik sendiri ada banyak jenisnya. Salah satu alat yang mempunyai sistem sederhana yaitu PLTGL-SB (Pembangkit Listrik Energi Gelombang Laut Sistem Bandul) yang pertama kali dibuat oleh Zamrisyaf pada tahun 2010. Hingga saat ini belum ditemukan parameter bentuk ponton yang menghasilkan olah gerak paling baik untuk menghasilkan daya yang besar. Eksperimen dilakukan menggunakan *prototype* 1:10 berbentuk silinder dengan cadik simetris di kedua sisinya untuk diperoleh parameter yang paling sesuai sehingga didapatkan gerakan pendulum dengan amplitudo yang besar untuk menghasilkan daya yang besar pula. Pada percobaan kali ini dilakukan 18 variasi dengan variasi 2 tinggi gelombang, 3 periode, serta 3 arah datangnya gelombang. Berdasarkan eksperimen tersebut, diperoleh sudut arah gerakan roll terbesar adalah 6 derajat, gerakan rotasi pitch terbesar 8 derajat, dan pergeseran heave terbesar dengan rentang 0.15 m hingga -0.15, semua terjadi pada sudut arah datang gelombang 90°. Nilai maksimum gerakan pitch dan roll terjadi Pada periode 0.6 sekon dan tinggi gelombang 0.4 m. Gerakan heave mengalami nilai terbesar pada kondisi periode 0.8 sekon dan tinggi gelombang 0.2 m.

**Kata Kunci:** Respon Gerak, Ponton, Trimaran

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Abstract**

### **Test Experiment of Motion Response on Trimaran Pontoon for Wave Energy Converters**

**Student Name** : Teuku Rachmattr A  
**NRP** : 04211440000073  
**Department** : Marine Engineering - ITS  
**Supervisor** : 1. Irfan Syarif A., S.T., M.T.  
2. Ahmad Baidowi, ST., M.T.

#### ***Abstract***

Ocean wave energy is the abundant type of renewable energy in Indonesia itself is wave energy. One tool to convert ocean wave energy into electrical energy that has a simple system that is PLTGL-SB (pendulum system), It was first made by Zamrisyaf in 2010. Until now no parameters have been found from the pontoons that produce the best movement to generate great power. The experiments were performed using a cylindrical 1:10 prototype with a symmetrical outrigger on both sides to obtain the most suitable parameters to obtain a pendulum motion with large amplitude to produce a great power. In this experiment there were 18 variations with variation of 2 wave height, 3 period, and 3 direction of wave heading. Based on these experiments, the highest angle of rollover motion is 6 degrees, the largest pitch rotation movement of 8 degrees, and the largest heave shift with range 0.15 m to -0.15, all happening at the angle of the 90 ° incident wave direction. Maximum value of movement of pitch and roll occur In period 0.6 second and wave height 0,4 m. The heave movement experiences the greatest value in the condition of 0.8 seconds and 0.2 m height.

**Keyword:** Motion Response, Pontoon, Trimaran

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

HALAMAN DEPAN .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Kata Pengantar .....	vii
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Manfaat .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
2.1 Energi Gelombang Laut .....	4
2.2 Gelombang Reguler .....	6
2.3 Teori Dasar Gerakan Bangunan Laut Akibat Beban Gelombang .....	6
2.4 Teori Sistem <i>Mooring</i> (Tambat) .....	7
2.5 Perhitungan Skala Daya .....	8
2.6 Prosedur Pengujian Eksperimen Ponton Terapung .....	9
2.6.1 Mekanisme Pengukuran Benda .....	9
2.6.2 Mekanisme Metode Pengujian untuk Model pada Gelombang Reguler .....	10
2.7 Penelitian Terdahulu .....	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	12
3.1 Metodologi Penelitian .....	12
3.2 Studi Literatur .....	13
3.3 Pembuatan Model Pengembangan dari Penelitian Sebelumnya .....	13

3.4 Spesifikasi Data Prototip .....	14
3.5 Pengambilan Data Olah Gerak Ponton .....	14
3.6 Analisa Data .....	14
3.7 Kesimpulan Pengujian.....	15
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	16
4.1 Prosedur Pengujian.....	16
4.2 Kalibrasi IMU (Inertia Measurement Unit) .....	17
4.3 Dimensi Ponton.....	19
4.4 Perhitungan Massa, Volume, dan Kestabilan Ponton .....	19
4.5 Layout Pemberat .....	20
4.6 Hasil Pengambilan Data .....	21
4.6.1 Pengaruh variasi arah datang gelombang dan periode gelombang pada H=0.2 m.....	22
4.6.2 Pengaruh variasi arah datang gelombang dan periode gelombang pada H=0.4 m.....	27
4.6.3 Pengaruh variasi tinggi gelombang dan sudut arah datang gelombang pada Periode=0.4 s.....	31
4.6.4 Pengaruh variasi tinggi gelombang dan sudut arah datang gelombang pada Periode=0.6 s.....	36
4.6.5 Pengaruh variasi tinggi gelombang dan sudut arah datang gelombang pada Periode=0.8 s.....	40
4.6.6 Pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang 0°.....	45
4.6.7 Pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang 90°.....	49
4.6.8 Pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang 45°.....	54
4.7 Pembahasan Data .....	59
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan .....	61
5.2 Saran .....	61
DAFTAR PUSTAKA .....	62
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gelombang yang disebabkan oleh badai.....	4
Gambar 2. Perambatan gelombang laut.....	5
Gambar 3. Estimasi distribusi global energi gelombang laut.....	5
Gambar 4. Spektrum tunggal karakteristik gelombang regular .....	6
Gambar 5. Gelombang acak atau <i>irregular</i> .....	6
Gambar 6. <i>Six degree of freedom</i> (SDOF) pada kapal.....	7
Gambar 7. Protipe Ponton .....	13
Gambar 8. Ilustrasi Sistem <i>Mooring</i> .....	14
Gambar 9. IMU Tools .....	16
Gambar 10. Flume Tank Dep. Teknik Kelautan.....	17
Gambar 11. Kalibrasi Pitch .....	17
Gambar 12. Kalibrasi Pitch dengan Bantuan Sensor .....	18
Gambar 13. Kalibrasi Roll .....	18
Gambar 14. Kalibrasi Roll dengan Bantuan Sensor .....	19
Gambar 15. Ponton dengan sensor IMU diatas .....	19
Gambar 16. Letak titik agar benda stabil positif ( $K=keel$ , $B=COB$ , $G=COG$ , dan $M=metacenter$ ).....	20
Gambar 17. Layout Ponton tampak atas.....	21
Gambar 18. Roll $\mu = 0^\circ$ , $H=0.2$ .....	22
Gambar 19. Roll $\mu = 90^\circ$ , $H=0.2$ .....	23
Gambar 20. Roll $\mu = 45^\circ$ , $H=0.2$ .....	23
Gambar 21. Pitch $\mu = 0^\circ$ , $H=0.2$ .....	24
Gambar 22. Pitch $\mu = 90^\circ$ , $H=0.2$ .....	24
Gambar 23. Pitch $\mu = 45^\circ$ , $H=0.2$ .....	25
Gambar 24. Heave $\mu = 0^\circ$ , $H=0.2$ .....	25
Gambar 25. Heave $\mu = 90^\circ$ , $H=0.2$ .....	26
Gambar 26. Heave $\mu = 45^\circ$ , $H=0.2$ .....	26
Gambar 27. Roll $\mu = 0^\circ$ , $H=0.4$ .....	27
Gambar 28. Roll $\mu = 90^\circ$ , $H=0.4$ .....	27
Gambar 29. Roll $\mu = 45^\circ$ , $H=0.4$ .....	28
Gambar 30. Roll $\mu = 0^\circ$ , $H=0.4$ .....	28
Gambar 31. Roll $\mu = 90^\circ$ , $H=0.4$ .....	29
Gambar 32. Roll $\mu = 45^\circ$ , $H=0.4$ .....	29
Gambar 33. Roll $\mu = 0^\circ$ , $H=0.4$ .....	30
Gambar 34. Roll $\mu = 90^\circ$ , $H=0.4$ .....	30
Gambar 35. Roll $\mu = 45^\circ$ , $H=0.4$ .....	31
Gambar 36. Roll $\mu = 0^\circ$ , $T=0.4$ S.....	31
Gambar 37. Roll $\mu = 90^\circ$ , $T=0.4$ S.....	32
Gambar 38. Roll $\mu = 45^\circ$ , $T=0.4$ S.....	32

Gambar 39. Pitch $\mu = 0^\circ$ , T=0.4 S .....	33
Gambar 40. Pitch $\mu = 90^\circ$ , T=0.4 S .....	33
Gambar 41. Pitch $\mu = 45^\circ$ , T=0.4 S .....	34
Gambar 42. Heave $\mu = 0^\circ$ , T=0.4 S .....	34
Gambar 43. Heave $\mu = 90^\circ$ , T=0.4 S .....	35
Gambar 44. Heave $\mu = 45^\circ$ , T=0.4 S .....	35
Gambar 45. Roll $\mu = 0^\circ$ , T=0.6 S.....	36
Gambar 46. Roll $\mu = 90^\circ$ , T=0.6 S.....	36
Gambar 47. Roll $\mu = 45^\circ$ , T=0.6 S.....	37
Gambar 48. Pitch $\mu = 0^\circ$ , T=0.6 S .....	37
Gambar 49. Pitch $\mu = 90^\circ$ , T=0.6 S .....	38
Gambar 50. Pitch $\mu = 45^\circ$ , T=0.6 S .....	38
Gambar 51. Heave $\mu = 0^\circ$ , T=0.6 S .....	39
Gambar 52. Heave $\mu = 90^\circ$ , T=0.6 S .....	39
Gambar 53. Heave $\mu = 45^\circ$ , T=0.6 S .....	40
Gambar 54. Roll $\mu = 0^\circ$ , T=0.8 S.....	40
Gambar 55. Roll $\mu = 90^\circ$ , T=0.8 S.....	41
Gambar 56. Roll $\mu = 45^\circ$ , T=0.8 S.....	41
Gambar 57. Pitch $\mu = 0^\circ$ , T=0.8 S .....	42
Gambar 58. Pitch $\mu = 90^\circ$ , T=0.8 S .....	42
Gambar 59. Pitch $\mu = 45^\circ$ , T=0.8 S .....	43
Gambar 60. Heave $\mu = 0^\circ$ , T=0.8 S .....	43
Gambar 61. Heave $\mu = 90^\circ$ , T=0.8 S .....	44
Gambar 62. Heave $\mu = 45^\circ$ , T=0.8 S .....	44
Gambar 63. Roll $\mu = 0^\circ$ , T=0.4 S.....	45
Gambar 64. Roll $\mu = 0^\circ$ , T=0.6 S.....	45
Gambar 65. Roll $\mu = 0^\circ$ , T=0.8 S.....	46
Gambar 66. Pitch $\mu = 0^\circ$ , T=0.4 S .....	46
Gambar 67. Pitch $\mu = 0^\circ$ , T=0.6 S .....	47
Gambar 68. Pitch $\mu = 0^\circ$ , T=0.8 S .....	47
Gambar 69. Heave $\mu = 0^\circ$ , T=0.4 S .....	48
Gambar 70. Heave $\mu = 0^\circ$ , T=0.6 S .....	48
Gambar 71. Heave $\mu = 0^\circ$ , T=0.8 S .....	49
Gambar 72. Roll $\mu = 90^\circ$ , T=0.4 S.....	49
Gambar 73. Roll $\mu = 90^\circ$ , T=0.6 S.....	50
Gambar 74. Roll $\mu = 90^\circ$ , T=0.8 S.....	50
Gambar 75. Pitch $\mu = 90^\circ$ , T=0.4 S .....	51
Gambar 76. Pitch $\mu = 90^\circ$ , T=0.6 S .....	51
Gambar 77. Pitch $\mu = 90^\circ$ , T=0.8 S .....	52

Gambar 78. Heave $\mu = 90^\circ$ , T=0.4 S .....	52
Gambar 79. Heave $\mu = 90^\circ$ , T=0.6 S .....	53
Gambar 80. Heave $\mu = 90^\circ$ , T=0.8 S .....	53
Gambar 81. Roll $\mu = 45^\circ$ , T=0.4 S .....	54
Gambar 82. Roll $\mu = 45^\circ$ , T=0.6 S .....	54
Gambar 83. Roll $\mu = 45^\circ$ , T=0.8 S .....	55
Gambar 84. Pitch $\mu = 45^\circ$ , T=0.4 S .....	55
Gambar 85. Pitch $\mu = 45^\circ$ , T=0.6 S .....	56
Gambar 86. Pitch $\mu = 45^\circ$ , T=0.8 S .....	56
Gambar 87. Heave $\mu = 45^\circ$ , T=0.4 S .....	57
Gambar 88. Heave $\mu = 45^\circ$ , T=0.6 S .....	57
Gambar 89. Heave $\mu = 45^\circ$ , T=0.8 S .....	58

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Berat Ponton Beserta Konstruksi Pendulum.....	20
Tabel 2. Kestabilan Ponton .....	20
Tabel 3. Variasi Percobaan.....	21

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Masyarakat menggunakan energi sebagai kebutuhan utama dalam kehidupan sehari – hari (Rachmattrra, 2017) [1]. Tiap tahun permintaan energi listrik naik secara signifikan. Data menurut BP (British Petroleum) pada rentang tahun 1995 – 2015 permintaan energi meningkat tiap tahunnya sejumlah 2,2 % [2]. Kebutuhan Energi Indonesia pada tahun 2020 diproyeksikan lebih dari 250 TWh per tahun (Muchlis, 2013) [3].

Pembangkit listrik di Indonesia masih bersumber pada bahan bakar fosil (batubara, gas, minyak). Menurut data statistik tahun 2015 oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, lebih dari 80% pembangkit listrik di Indonesia berbahan bakar fosil [4]. Kementerian ESDM menargetkan pada tahun 2025 total suplai listrik sebesar 23% dari Energi Baru Terbarukan hal ini dilakukan untuk mengurangi ketergantungan pembangkit listrik terhadap bahan bakar fosil [5].

Energi laut merupakan salah satu tipe energi baru terbarukan di Indonesia sebagai terobosan untuk memenuhi pasokan kebutuhan listrik di Indonesia. Dikarenakan Dua pertiga wilayah Indonesia terdiri dari lautan terdapat potensi sangat besar untuk penerapan energi laut. Jenis energi laut ada empat, yaitu: energi gelombang, energi arus laut, energi perbedaan suhu air laut, serta energi pasang surut air laut. Tahun 2011 ASELI (Asosiasi Energi Laut Indonesia) telah meratifikasi potensi energi laut Indonesia. Energi gelombang mempunyai potensi praktis sebesar 1,2 GW , Energi pasang surut air laut sebesar 4,8 GW, Energi perbedaan suhu air laut sebesar 43 GW (Mukhtasor, 2012) [6].

Terdapat besarnya potensi praktis sebesar 12.000 MW untuk energi gelombang laut dan panjang garis pantai di Indonesia. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian untuk pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL). Dalam pembuatan PLTGL dimulai dari Bapak Zamrisyaf pada tahun 2010, Konsep pembangkit listrik tenaga gelombang laut ini menggunakan sistem bandul yaitu dengan memanfaatkan fluktuasi gerakan gelombang air laut yang akan membuat bandul akan bergerak seperti lonceng, gerakan tersebut kemudian ditransmisi ke dalam gerakan putar untuk menggerakkan dinamo kemudian menjadi energi listrik (Isnaini, 2016) [7].

Dalam penelitian kali ini penulis melanjutkan penelitian yang dilakukan Bapak Irfan Syarief. Pembuatan PLTGL kali ini menggunakan ponton trimaran, 2 ponton simetri di sisi kiri dan kanan sebagai penerima energi

gerakan gelombang, ponton di tengah mempunyai fungsi sebagai stabilitas dan letak bandul yang akan di sambung ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Penelitian sebelumnya menghasilkan dimensi yang optimum pada saat periode gelombang 0,8 detik. Untuk sistem peletakan kabel *mooring* (tambat) belum diuji. Fungsi kabel tambat digunakan agar pada saat pengoperasian PLTGL tetap *sustain* (berkelanjutan) tidak terseret gelombang dan tetap pada posisi yang ditentukan dalam pengoperasian.

Pada pengerjaan tugas akhir kali ini, penulis melakukan pengujian dengan dimensi ponton yang sama dengan memvariasikan tinggi gelombang, periode gelombang, serta letak posisi kabel *mooring*. Skala pengujian prototipe 1:10 dari bentuk aslinya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Dari uraian yang disampaikan di atas, maka permasalahan yang menjadi bahan analisa dalam tugas akhir ini adalah :

- a) Bagaimana pengaruh pengujian perubahan tinggi gelombang terhadap respon gerakan ponton PLTGL-SB?
- b) Bagaimana pengaruh pengujian perubahan periode gelombang terhadap respon gerakan ponton PLTGL-SB?
- c) Bagaimana pengaruh pengujian sudut datang gelombang terhadap respon gerakan ponton PLTGL-SB?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Terdapat batasan masalah pada pengerjaan penelitian skripsi PLTLG-SB, sebagai berikut :

- a) Mengetahui pengaruh variasi tinggi gelombang terhadap respon gerakan ponton PLTGL-SB
- b) Mengetahui pengaruh efek perubahan periode terhadap respon gerakan ponton PLTGL-SB
- c) Mengetahui pengaruh pengujian perubahan sudut datang gelombang terhadap respon gerakan ponton PLTGL-SB.

## **1.4 Batasan Masalah**

Terdapat batasan masalah pada pengerjaan penelitian skripsi PLTLG-SB, sebagai berikut :

- a) Gelombang yang digunakan untuk eksperimen yaitu gelombang regular dengan mengabaikan gangguan lain seperti halnya angin dan sebagainya
- b) Dimensi ponton yang diteliti yaitu ponton berbentuk silinder dengan cadik simetris di kedua sisi dan memiliki panjang yang sama dengan bentuk ponton utama dengan perbandingan skala 1:10
- c) Berat sensor IMU (*Inertia Measurement Unit*) diabaikan

- d) Penelitian dilakukan dengan hanya meninjau 3 derajat kebebasan. Dua derajat kebebasan dari ponton yaitu *heave* dan *roll*, serta satu derajat kebebasan dari bandul (*pitch*)
- e) *Prototype* dibuat tanpa ada generator. Perhitungan daya yang dihasilkan diabaikan
- f) Kabel *mooring* dibuat sejumlah 4 buah. Dua pada masing – masing sisi (*starboard* & *portside*) Dibuat dengan memperhitungkan keseimbangan massa.

## **1.5 Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

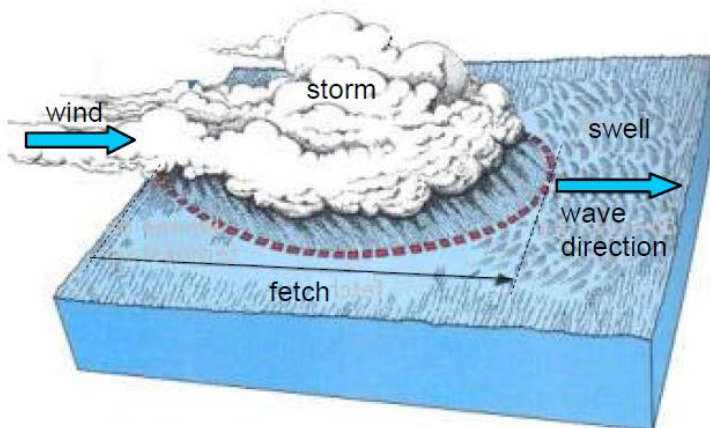
- a) Mengetahui hasil olah gerak ponton PLTGL-SB saat ditambah dipasang tali pemberat
- b) Mengetahui hasil olah gerak ponton PLTGL-SB terhadap perubahan periode gelombang, tinggi gelombang, dan sudut datang gelombang
- c) Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam rangka pengembangan di bidang energi laut.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

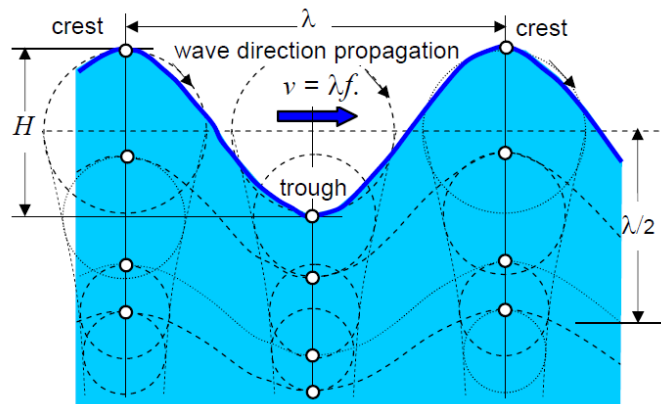
#### 2.1 Energi Gelombang Laut

Gelombang laut terbentuk dari kombinasi gaya gravitasi, tegangan permukaan laut, dan juga dikarenakan adanya angin yang berhembus. Besar kecilnya gelombang ditentukan oleh kecepatan angin, jarak antara angin yang merangsang terbentuknya gelombang dengan gelombang itu sendiri (fetch), kedalaman, serta topografi dari dasar laut. Jika gelombang berada jauh dari angin yang merangsangnya maka bentuknya akan sebagaimana gelombang reguler dan disebut sebagai swell. Gambar 2.1 mengilustrasikan gelombang yang terbentuk akibat badai.



Gambar 1. Gelombang yang disebabkan oleh badai

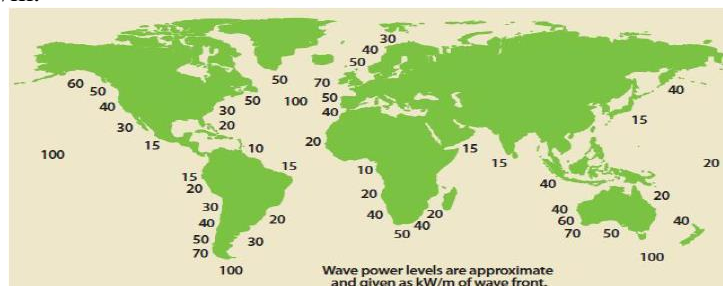
Partikel-partikel air yang terangsang oleh angin membentuk lintasan lingkaran pada masing-masing titik yang mempunyai diameter paling besar pada permukaannya. Semakin dalam letaknya, maka diameternya akan semakin berkurang secara eksponensial. Rangkaian dari gerakan melingkar tersebut nantinya akan membentuk gelombang laut dan perambatannya sebagaimana ditunjukkan oleh gambar 2.2.



Gambar 2. Perambatan gelombang laut

Jarak antara puncak ke puncak (*crest to crest*) didefinisikan sebagai panjang gelombang ( $\lambda$ ). Ketinggian gelombang ( $H$ ) sebanding dengan intensitas angin dan durasinya. Periode gelombang ( $T$ ) adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai panjang gelombang dan sebanding dengan kedalaman laut. Frekuensi gelombang ( $f$ ) adalah banyaknya gelombang dalam satu detik. Rasio antara panjang gelombang ( $\lambda$ ) dibandingkan dengan dua kali ketinggian gelombang ( $2H$ ) disebut *declivity* dan ketika nilainya lebih dari  $1/7$ , maka gelombang akan menjadi tidak stabil dan menghilang.

Energi gelombang terdistribusi secara bervariasi di seluruh dunia. Gambar 2.3 menunjukkan atlas dunia dengan angka yang mengindikasikan energi gelombang pada daerah tersebut dalam kW/m. Dari gambar tersebut, diketahui bahwa pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 kw/m.



Gambar 3. Estimasi distribusi global energi gelombang laut

Energi gelombang terdistribusi secara bervariasi di seluruh dunia. Gambar 2.3 menunjukkan atlas dunia dengan angka yang mengindikasikan energi gelombang pada daerah tersebut dalam kW/m. Dari gambar tersebut, diketahui bahwa pantai barat Pulau Sumatera bagian selatan dan pantai selatan Pulau Jawa bagian barat berpotensi memiliki energi gelombang laut sekitar 40 kw/m.

## 2.2 Gelombang Reguler

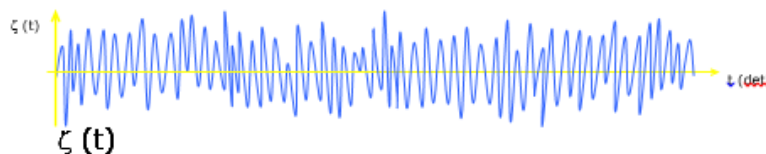
Gelombang reguler merupakan gelombang dengan tinggi gelombang yang konstan, periode tunggal, sehingga gelombang ini juga mempunyai spectrum tunggal. (Fatnata, 2009). Teori gelombang reguler adalah pendekatan dari sebuah kenyataan dengan beberapa asumsi penyederhanaan dan idealisasi. Berikut ini adalah asumsi dasar teori gelombang:

- Fluida dianggap homogen
- Tekanan permukaan diabaikan
- Pressure di permukaan bebas dianggap konstan dan *uniform*
- Fluida dianggap ideal (tidak bisa ditekan/ *inviscid* dan *incompressible*)
- Gerakan partikel berdiri sendiri, tidak saling mengganggu dan bertubrukan selama bergerak
- Dasar laut dianggap datar, tetap *impermeable*, sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol



Gambar 4. Spektrum tunggal karakteristik gelombang reguler

Sedangkan gelombang irregular merupakan gelombang superposisi dari beberapa gelombang reguler yang mempunyai frekuensi dan tinggi gelombang berbeda. Gelombang laut mempunyai bentuk dan arah gerakan tak beraturan/acak (*random*) dan tidak pernah berulang urutan kejadiannya, sehingga teori gelombang reguler tidak dapat secara langsung (deterministik) menjelaskannya.



Gambar 5. Gelombang acak atau *irregular*

Pada gelombang reguler terdapat istilah *Respond of Amplitude* (RAO) adalah respon struktur terhadap gelombang reguler.

## 2.3 Teori Dasar Gerakan Bangunan Laut Akibat Beban Gelombang

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas (SDOF-*six degree of freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut ini adalah keenam mode gerakan tersebut:

Mode Gerakan Translasional :

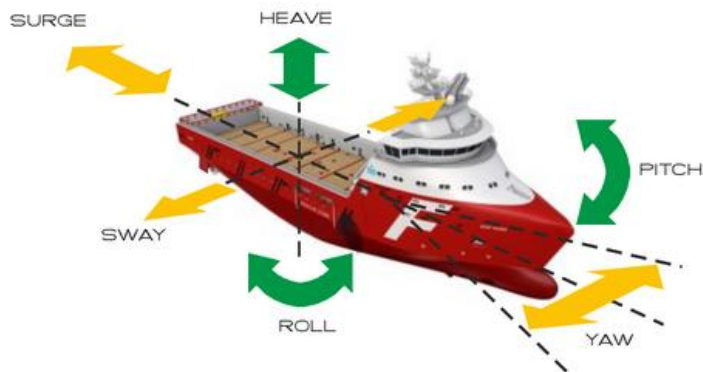
- *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x

- *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
  - *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z
- Mode gerakan translasional menggunakan satuan perpindahan (meter)

Mode Gerakan Rotasional :

- *Roll*, gerakan rotasional arah sumbu x
- *Pitch*, gerakan rotasional arah sumbu y
- *Yaw*, gerakan rotasional arah sumbu z

Mode gerakan rotasional menggunakan satuan perputaran (*degree* / derajat).



Gambar 6. *Six degree of freedom* (SDOF) pada kapal

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dengan memakai konversi subu tangan kanan, tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y, dan z adalah masing- masing *surge*, *sway*, dan *heave* sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga subu adalah *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Dengan demikian domain gerakan yang mempengaruhi kapal dan ponton adalah gerakan rotasi dan translasi.

Pada percobaan kali ini menggunakan grafik *motion response* atau dikenal respon gerakan suatu benda terhadap gelombang. Grafik tersebut menggunakan *time domain* (batasan waktu) sehingga melihat derajat atau perubahan. Sumbu absis (sumbu-x) adalah waktu dengan satuan sekon dan sumbu ordinat (sumbu-y) adalah besar perubahan derajat kebebasan dengan satuan (*degree*).

## 2.4 Teori Sistem *Mooring* (Tambat)

Sistem Tambat (*mooring system*) pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang (PLTGL) bisa dibagi menjadi 2 yaitu, drift kekuatan (juga disebut frekuensi rendah atau kekuatan yang bervariasi secara perlahan) dan frekuensi gelombang banyak Untuk struktur besar, jauh dari respons resonan, beban yang bervariasi secara perlahan merupakan kasus utama untuk merancang sistem tambat sebagai gerakan gelombang-eksitasi yang terbatas (Lars Berghdahl,

2017) [8]. Untuk ukuran pembangkit yang lebih kecil dibutuhkan alat untuk beroperasi dengan respon yang besar.

Gelombang tidak tentu (*irregular waves*) seringkali datang dengan beban gelombang yang fluktuatif (naik-turun). Untuk menghadapi beban tersebut Pembangkit Listrik Tenaga Sistem Bandul (PLTGL-SB) yang kami rancang membutuhkan sistem tambat yang *sustain* agar pada saat pengoperasian menghasilkan listrik yang kontinyu.

Pengembangan pembangkit listrik tenaga gelombang laut perlu dilakukan untuk menghasilkan teknologi tepat guna yang potensial untuk memecahkan masalah energi listrik, terutama di pulau-pulau kecil dan daerah/wilayah terpencil di Indonesia. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap sistem tambat pada Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Sistem Bandulan (PLTGL-SB). Sistem tambat PLTGL-SB dirancang agar ketika ponton trimaran PLTGL-SB terkena gelombang dapat menghasilkan gerakan yang optimal dan aman sehingga dapat mengekstrak jumlah energi yang maksimal.

## 2.5 Perhitungan Skala Daya

Menentukan *power scalling*, kita harus menggunakan dua parameter berdimensi yang berkaitan dengan mekanik gelombang. Yang pertama adalah *Froude number* yang didefinisikan sebagai  $V / (gL)^{1/2}$  dimana  $V$  adalah karakteristik dari kecepatan. Angka berdimensi ini digunakan pada desain dari *marine vehicles*. Sebagai contoh, buku dari Bhattacharyya (1978). Pada desain dari sebuah model, kemudian, *engineer* membutuhkan *Froude number* dari keduanya baik model maupun *prototype* agar sama; dimana,

$$\frac{V_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{gL_p}} \quad (2.1)$$

atau, sebab konstanta gravitasi  $g$  sama pada keduanya, maka rasio kecepatan adalah

$$\frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{L_m}{L_p}} = \sqrt{n} \quad (2.2)$$

Hasil dari persamaan (5.53) menunjukkan bahwa faktor skala untuk kecepatan sama dengan akar dari faktor panjang skala  $n$ .

Angka berdimensi kedua yang digunakan pada model desain adalah *Strouhal number*  $fL / V$ , dimana  $f$  adalah frekuensi gelombang. Parameter ini digunakan pada analisis dari getaran gelombang terinduksi dari struktur bangunan lepas pantai, yang dideskripsikan oleh McCormick (1973) dan yang lainnya. Pada model desain kita membutuhkan

$$\frac{f_m L_m}{V_m} = \frac{f_p L_p}{V_p} \quad (2.3)$$

atau, sebab  $f = 1 / T$ , dimana  $T$  adalah periode gelombang,

$$\frac{L_m}{T_m V_m} = \frac{L_p}{T_p V_p} \quad (2.4)$$

Persamaan (5.55) dapat digunakan untuk memperoleh hubungan *time-scaling*,

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{L_m}{L_p} \left( \frac{V_p}{V_m} \right) = n^{3/2} \quad (2.5)$$



Pernyataan daya untuk sistem hidromekanik dapat dinyatakan (untuk tujuan dimensional) sebagai

$$P = C\rho AV^3 \quad (2.6)$$

dimana  $A$  adalah area aliran dan  $C$  adalah konstanta. Sebab  $C$  dan  $\rho$  diasumsikan sama baik untuk model maupun *prototype*, *power scalling* didapatkan dari

$$\begin{aligned} \frac{P_m}{P_p} &= \frac{A_m}{A_p} \left( \frac{V_m}{V_p} \right)^3 \\ &= \left( \frac{L_m}{L_p} \right)^2 \left( \frac{V_m}{V_p} \right)^3 \\ &= (n)^2 (n^{3/2}) \\ &= n^{7/2} \end{aligned} \quad (2.7)$$

menggunakan hasil dari persamaan (2.1) dan (2.2) untuk menentukan signifikansi dari persamaan (2.3) dan (2.4) pada model analisis konversi energi gelombang.

Persamaan skala dapat diaplikasikan kepada ekspresi daya gelombang yang sebenarnya untuk mendapatkan hasil yang sama; yaitu, daya gelombang berskala adalah daya gelombang berskala penuh dibagi 128. Terfokus pada gelombang itu sendiri, pembaca dapat dengan mudah mengingat bahwa *wave stepness* harus sama baik untuk model maupun *prototype*, kemudian

$$\frac{H_m}{\lambda_m} = \frac{H_p}{\lambda_p} \quad (2.8)$$

Pernyataan ini dapat ditunjukkan untuk angka yang valid baik pada laut dalam maupun kondisi perairan dangkal.

## 2.6 Prosedur Pengujian Eksperimen Ponton Terapung

### 2.6.1 Mekanisme Pengukuran Benda

Pemilihan skala rasio dipilih berdasarkan ukuran alat, tujuan eksperimen, kondisi gelombang saat pengujian, serta konsep validasi. Pada pengujian kali terdapat pertimbangan sistem *mooring* (tambat). Performa dari skala Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang biasanya dihitung menggunakan metode Froude.

Hal yang diuji biasanya berupa :

1. Semua derajat kebebasan (DOF) dari motions model; perhatikan bahwa 6-DOF cukup untuk badan yang kaku, tetapi lebih banyak degrees kebebasan akan diperlukan untuk diukur untuk pelanggaran yang diartikulasikan atau fleksibel;
2. Peningkatan gelombang lokal ke model untuk menentukan fase tanggung-tambang serta gelombang ke atas dan gelombang bawah yang sesuai;
3. Kecepatan angin dan arus (jika sesuai);
4. Gaya Benda & displasmen / kecepatan (tipe generator linier atau rotasi);

5. *Pressure Drop* dan laju aliran di seluruh simulator pembuangan energi PLTGL (tipe Pneumatik);
6. Tingkat Overtopping (tipe Overtopping);
7. Gayaambat jika perlu.

### **2.6.2 Mekanisme Metode Pengujian untuk Model pada Gelombang Reguler**

Dalam Pengujian Model dalam kondisi gelombang reguler ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan :

- Dimensi Model
- Dimensi Tangki
- Kalibrasi Gelombang
- Durasi Pengujian
- Alat Pengukuran
- Metode Pembatasan Masalah
- Periode dan Tinggi Gelombang
- Kecepatan dan Arah Gelombang
- Lokasi Alat Pengukur Gelombang
- Jumlah Pengujian Pengulangan
- Akurasi dari Perbedaan Alat Ukur

ITTC merekomendasikan skala model dibuat sebaiknya sebesar mungkin. Tangki yang lebar diperlukan untuk menghindari gangguan antara model dan dinding tangki.

### **2.7 Penelitian Terdahulu**

Penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Sistem Bandul (PLTGL-SB) dimulai dari Bapak Zamrisyaf dari Badan Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero). Pembangkit listrik yang digagas Zamrisyaf dibuat dengan memanfaatkan tenaga gelombang laut dan sistem bandulan. Rancang bangunnya berbentuk ponton, sampan yang rendah dan lebar, yang ditempatkan mengapung di atas permukaan air laut.

Penelitian PLTGL-SB selanjutnya dilakukan oleh Irfan Syarif, *et al* [9]. dari hasil eksperimennya didapat data sebagai berikut :

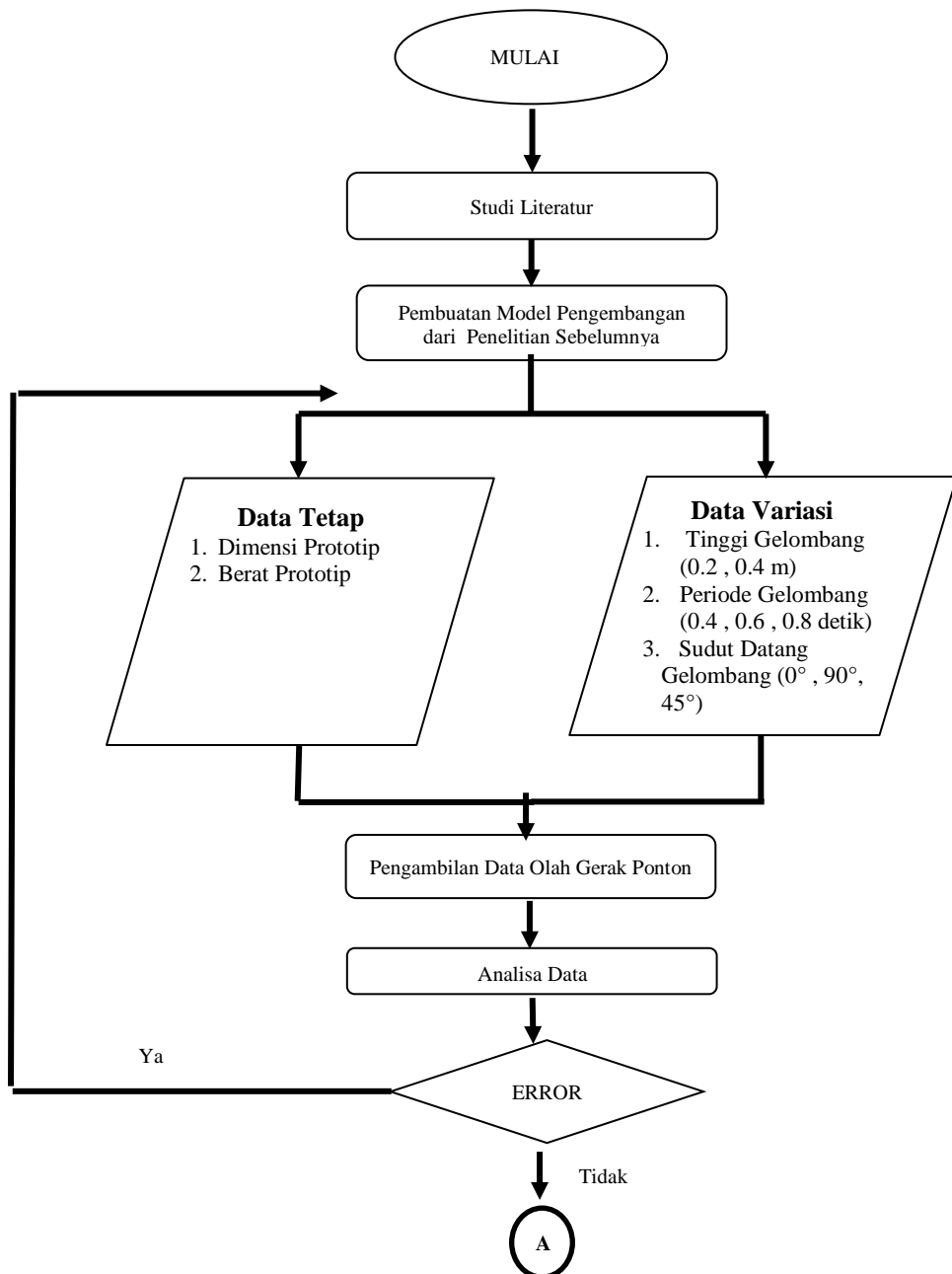
- Amplitudo osilasi pendulum menurun seiring dengan meningkatnya panjang lengan cadik, tinggi cadik, massa pendulum, dan panjang lengan pendulum memiliki, namun berbeda dengan kenaikan periode gelombang, amplitudo osilasi pendulum meningkat seiring dengan kenaikan parameter tersebut.
- Variasi yang menghasilkan nilai simpangan maksimum dan simpangan rata-rata paling besar yaitu variasi 12 dengan periode gelombang 0.8 s, panjang lengan cadik 413 mm, tinggi cadik 40 mm, panjang lengan pendulum 106.7 mm, dan massa pendulum 20 gram dengan nilai simpangan maksimum 60 derajat dan simpangan rata-rata 41.82 derajat.

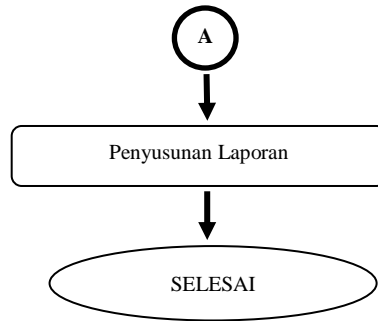
Eksperimen tersebut tanpa melihat aspek kabel mooring dan variasi tinggi gelombang.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metodologi Penelitian

Untuk menyelesaikan masalah diatas akan digunakan metode Uji Eksperimen. Desain langkah pengerjaan eksperimen dapat dilihat dalam *flow chart* dibawah :





### 3.2 Studi Literatur

Tahap pertama adalah studi literatur untuk mencari data-data dan berbagai referensi dari makalah, jurnal, serta buku-buku yang menunjang penelitian kali ini. Selain dari sumber-sumber diatas, studi literatur dapat diperoleh dengan melakukan tanya jawab dengan pihak-pihak yang berkepentingan dan pakar ahli pada bahasan tugas akhir ini yaitu, Dosen pembimbing Bapak Irfan Syarief, ST., MT dan Bapak Achmad Baidowi, ST., MT.

### 3.3 Pembuatan Model Pengembangan dari Penelitian Sebelumnya

Pembuatan model prototip sama dengan penelitian sebelumnya, namun terdapat penambahan kabel untuk mooring. Kabel mooring diletakkan di masing-masing sisi sebanyak 2 buah. Total kabel 4 buah dan akan divariasikan sudut arah datang gelombang.



Gambar 7. Protipe Ponton

### 3.4 Spesifikasi Data Prototip

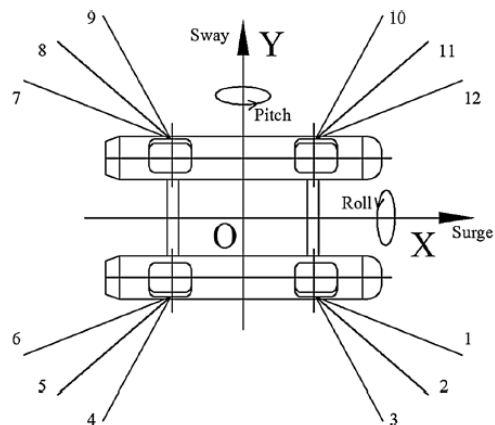
Spesifikasi dari desain prototype ponton yang akan dilakukan perhitungan analisisnya yaitu sebagai berikut.

Diameter Silinder Besar	: 16.5 cm
Tebal Silinder Besar	: 0.7 cm
Diameter Silinder Kecil	: 4 cm
Tebal Silinder Kecil	: 0.2 cm
Panjang Silinder Besar	: 32 cm
Panjang Silinder Kecil	: 32 cm
Massa Jenis Silinder	: 1.39 gr/cm <sup>3</sup>
Sarat	: $\frac{1}{2}$ dan $\frac{2}{3}$ diameter ponton
Tinggi Jukung	: 1.5 cm dan 4 cm
Panjang Plat	: 32 cm
Lebar Plat	: 17 cm
Massa Jenis Plat	: 1.2 gr/cm <sup>3</sup>

### 3.5 Pengambilan Data Olah Gerak Ponton

Pada eksperimen kali ini, terdapat 3 variasi dengan variasi periode gelombang, variasi tinggi gelombang, variasi sudut arah datang gelombang. Terdapat variabel tetap dari eksperimen ini, yaitu dimensi dan berat prototip.

Periode gelombang dalam eksperimen kali ini menggunakan 0,4 s, 0,6 s dan 0,8 s. Untuk Tinggi gelombang menggunakan 0.2 m , 0.4 m. Variasi letak posisi *mooring* akan diilustrikan di gambar 3.2.



Gambar 8. Ilustrasi Sistem *Mooring*

### 3.6 Analisa Data

Setelah data diperoleh dari hasil pengujian model, maka data tersebut akan dianalisa. Hasil pengujian prototip akan dilakukan perhitungan secara analitis dan kemudian akan dibuat grafik kinerja dari olah gerak ponton. Data

### **3.7 Kesimpulan Pengujian**

Setelah melakukan analisa terhadap data yang diperoleh, maka selanjutnya akan dapat ditarik kesimpulan dari analisa data tersebut, serta memberikan saran-saran atau rekomendasi yang dapat menunjang untuk dilakukan penelitian di waktu yang akan datang.

## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Prosedur Pengujian

Dalam Melakukan Pengujian menurut ITTC ada beberapa langkah yang harus dicapai, yaitu :

1. Tujuan Prosedur =

Tujuan Kali ini untuk penelitian menunjang Tugas Akhir

2. Analisa Prosedur untuk Pengujian Gelombang Reguler =

Tujuan Kali ini untuk penelitian menunjang pekerjaan Tugas Akhir Mahasiswa

3. Parameter yang Diuji =

- a. Tinggi Gelombang (0.2 , 0.4 m)
- b. Periode Gelombang (0.4 , 0.6 , 0.8 detik)
- c. Sudut arah datang gelombang ( $0^\circ$  ,  $90^\circ$  ,  $45^\circ$ )
- d. Pengukuran Alat menggunakan
  - i. IMU (*Inertial Measurement Unit*)



Gambar 9. IMU Tools

4. Dimensi Flume Tank (Uji Model Hidraulika)

Pengujian dilakukan di Lab Flume Tank-Departemen Teknik Kelautan ITS. Berikut data Lab Flume tank :

Ukuran Utama	: 20 m x 2.0 m x 2.5 m (panjang, lebar dan tinggi)
Pembangkit	: Gelombang
Sistim pembangkit	: Jenis Plunyer
Keluaran gelombang	: Reguler/Irregular
Periode gelombang	: 0.2 – 3.0 detik



Tinggi Gelombang : 0.5 m (maksimum)  
Kedalaman air : 0.8 m (maksimum)

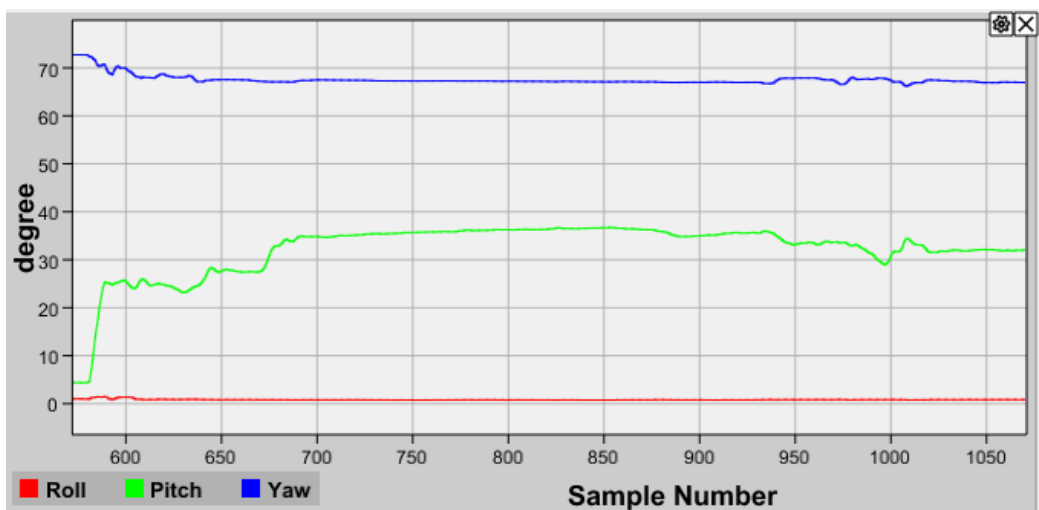


Gambar 10. Flume Tank Dep. Teknik Kelautan

#### 4.2 Kalibrasi IMU (Inertia Measurement Unit)

Pada pengujian kali ini menggunakan sensor IMU, sensor tersebut dapat mendeteksi data gyroskop, akselerometer, kecepatan, dan sudut perpindahan rotasi secara waktu riil. Empat data tersebut masing-masing bisa mendeteksi sumbu x,y,z. Sensor IMU diletakkan di atas ponton *prototype*.

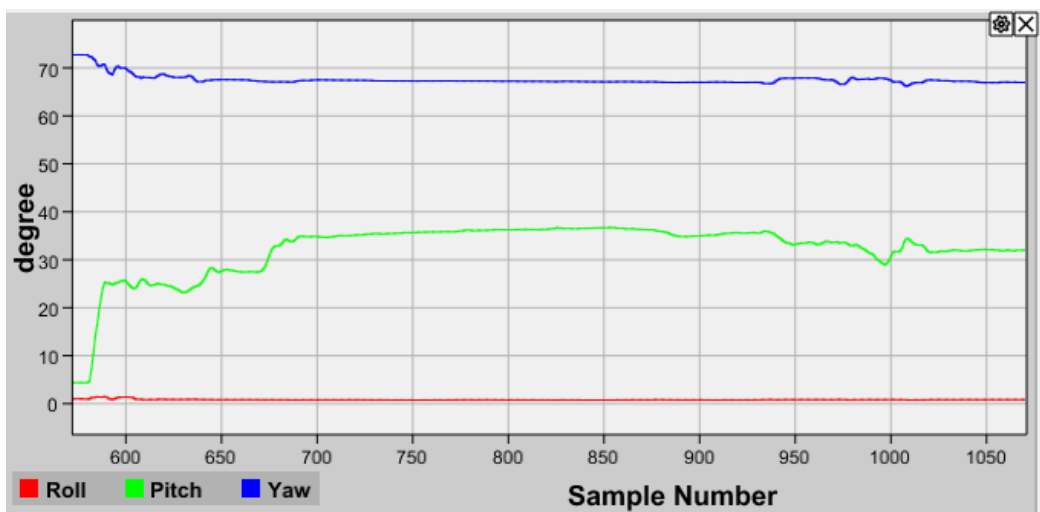
Kalibrasi sensor menggunakan cara manual yaitu menggunakan bantuan busur.



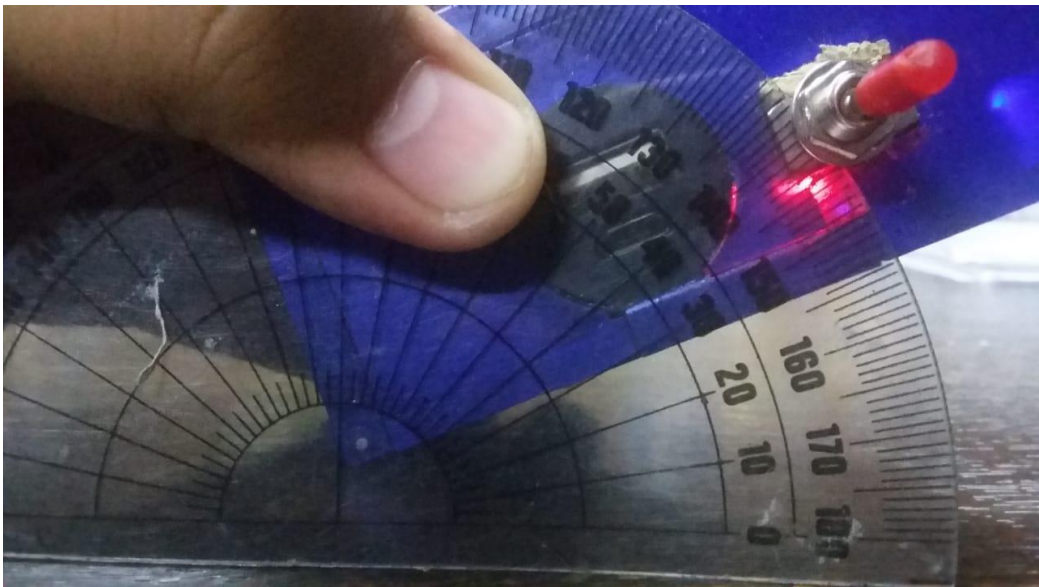
Gambar 11. Kalibrasi Pitch



Gambar 12. Kalibrasi Pitch dengan Bantuan Sensor



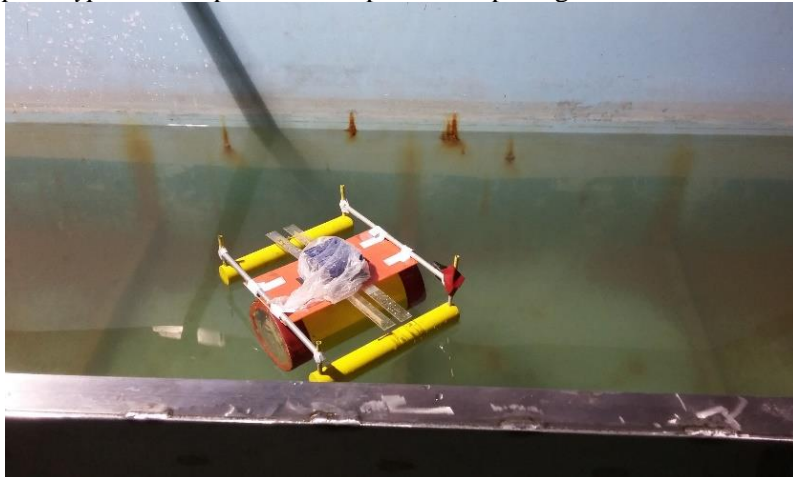
Gambar 13. Kalibrasi Roll



Gambar 14. Kalibrasi Roll dengan Bantuan Sensor

#### 4.3 Dimensi Ponton

Ponton yang diuji adalah *prototype* dengan perbandingan 1:10. *Prototype* ponton yang dibuat yaitu berbentuk silinder dengan cadik simetris di kedua sisi dengan ukuran panjang 320 mm. Diameter dari ponton yaitu 165 mm, sedangkan cadik memiliki diameter 40 mm. Untuk lebih jelasnya, bentuk *prototype* beserta pendulum dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 15. Ponton dengan sensor IMU diatas

#### 4.4 Perhitungan Massa, Volume, dan Kestabilan Ponton

Setelah ditentukan geometri dari ponton yang akan dibuat, maka perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui kestabilan ponton ketika terkena gaya eksitasi dari gelombang. Hal yang paling mempengaruhi kestabilan dari suatu

benda ketika tercelup di air adalah banyaknya bagian yang terendam dari benda tersebut. Tinggi dari bagian benda yang tercelup di air disebut sebagai sarat (t). Jika sarat diketahui, maka *center of buoyancy* (COB) juga akan diketahui. Untuk mengetahui semua data tersebut, maka perlu dihitung massa dan volume dari ponton yang akan diteliti.

**Tabel 1. Berat Ponton Beserta Konstruksi Pendulum**

No.	Bagian Ponton	Volume (cm <sup>3</sup> )	Massa Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	Massa (gr)
1.	Ponton	1076.58	1.39	1496.45
2.	Cadik	147.95	1.39	205.66
3.	Tutup ponton	213.72	1.20	256.46
4.	Tutup cadik	25.12	1.20	30.14
5.	Lengan cadik 1	7.61	2.71	57
6.	Lengan cadik 2	6.33	2.71	47.8
7.	Tinggi cadik	15.2	2.71	70.68

Berdasarkan perhitungan, maka diperoleh massa total dari ponton beserta konstruksi cadik. Sarat yang dipilih sendiri yaitu sebesar 0.5 diameter ponton. Melalui perhitungan analitis, dapat diperoleh bahwa letak titik COB, COG, dan *metacenter* sesuai dengan teori kestabilan sehingga ponton dapat kembali ke posisi semula (stabil positif).



Gambar 16. Letak titik agar benda stabil positif (K=*keel*, B=COB, G=COG, dan M=*metacenter*)

Menurut perhitungan, massa dari sistem yaitu sebesar 2.12 kg. Namun, dengan massa 2.12 kg sarat yang dikehendaki tidak tercapai sehingga diperlukan adanya *ballast* atau pemberat. Data mengenai titik COG, COB, *metacenter*, dan juga *ballast* dapat dilihat pada tabel 4.2.

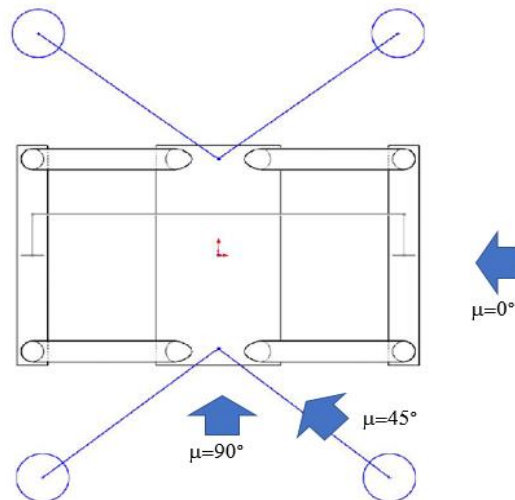
**Tabel 2. Kestabilan Ponton**

Sarat	COG (cm)	COB (cm)	Metacenter (cm)
0.5 D	8.67	7.49	12.17

#### 4.5 Layout Pemberat

Pada pengambilan kali ini dilakukan variasi sudut arah datang gelombang yaitu 0° , 90° , 45°. Notasi arah datang gelombang biasa

menggunakan  $\mu$ . Sudut datangnya gelombang mempengaruhi gerakan ponton dalam pengoperasian. Perbedaan arah eksistasi gelombang akan mempunyai dampak intensitas gerakan yang berdampak pada 6-derajat kebebasan ponton. Tali pemberat dipasang pada sisi *portside* dan *starboard*, masing-masing berjumlah 2 tali dengan pemberat 1 kg, sudut antar tali diatur  $135^\circ$ . Berikut layout tampak atas tali pemberat :



Gambar 17. Layout Ponton tampak atas

#### 4.6 Hasil Pengambilan Data

Pada pengambilan kali ini dilakukan dengan melakukan 18 variasi percobaan. Variasi dilakukan dengan memvariasi 2 tinggi gelombang, 3 periode waktu, serta 3 sudut arah gelombang. Berikut tabel total 18 variasi:

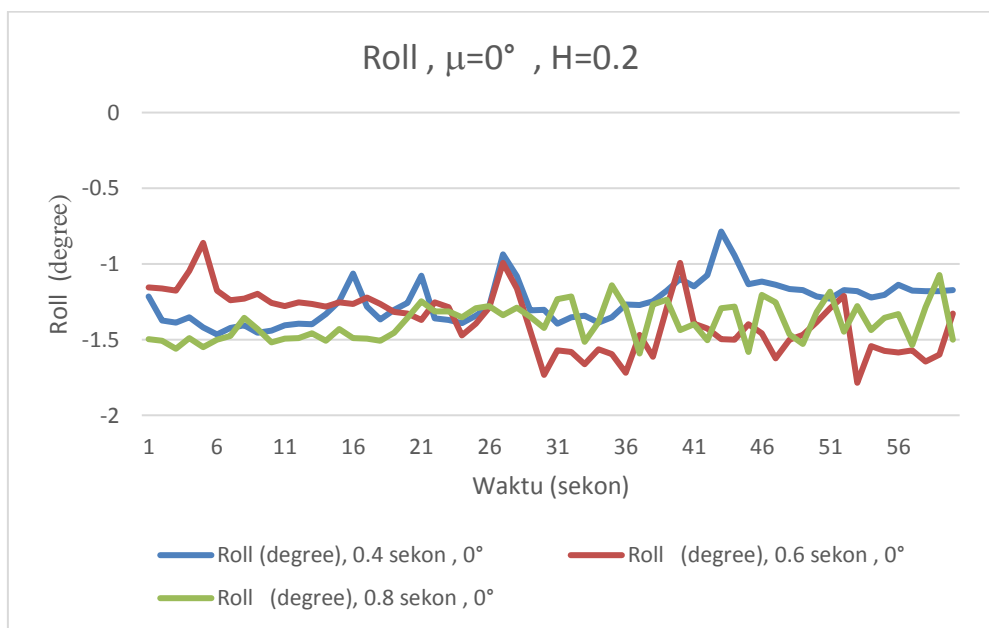
**Tabel 3. Variasi Percobaan**

Variasi	Tinggi Gelombang (m)	Periode (sekon)	$\mu$ ( $^\circ$ )
1	0.2	0.4	0
2	0.2	0.6	0
3	0.2	0.8	0
4	0.4	0.4	0
5	0.4	0.6	0
6	0.4	0.8	0
7	0.2	0.4	90
8	0.2	0.6	90
9	0.2	0.8	90
10	0.4	0.4	90
11	0.4	0.6	90
12	0.4	0.8	90

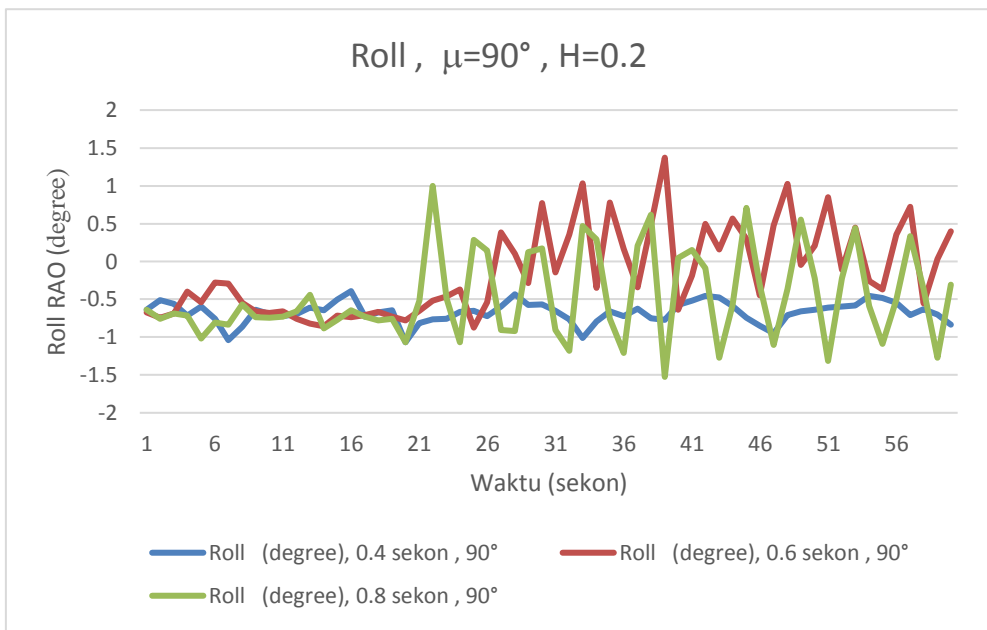
13	0.2	0.4	45
14	0.2	0.6	45
15	0.2	0.8	45
16	0.4	0.4	45
17	0.4	0.6	45
18	0.4	0.8	45

Hasil percobaan dibandingkan dengan masing – masing variabel. Dilihat bentuk karakteristik gerak respon terhadap ponton PLTGL-SB.

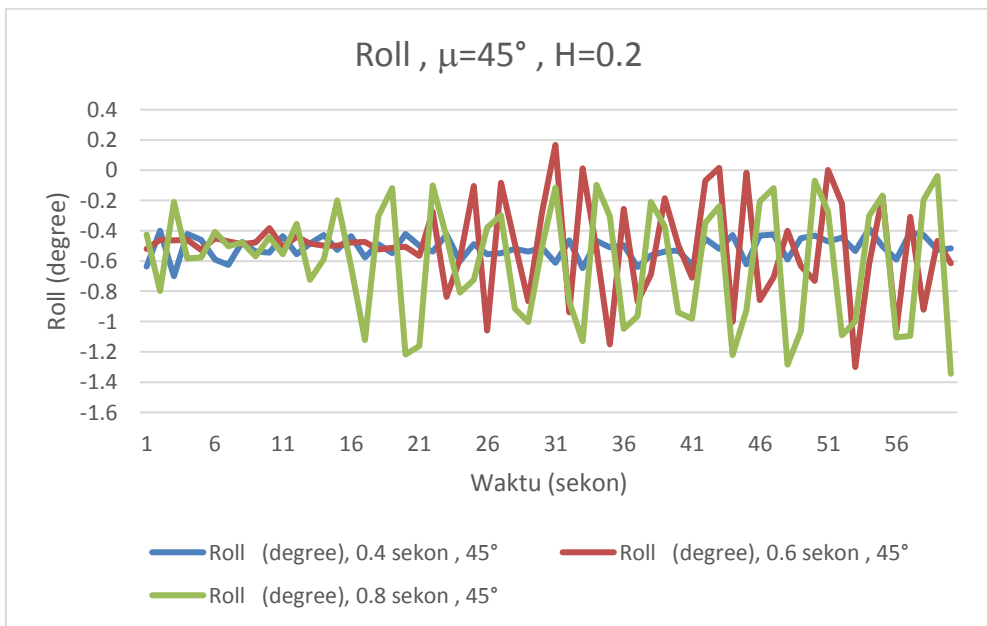
#### 4.6.1 Pengaruh variasi arah datang gelombang dan periode gelombang pada $H=0.2$ m



Gambar 18. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $H=0.2$

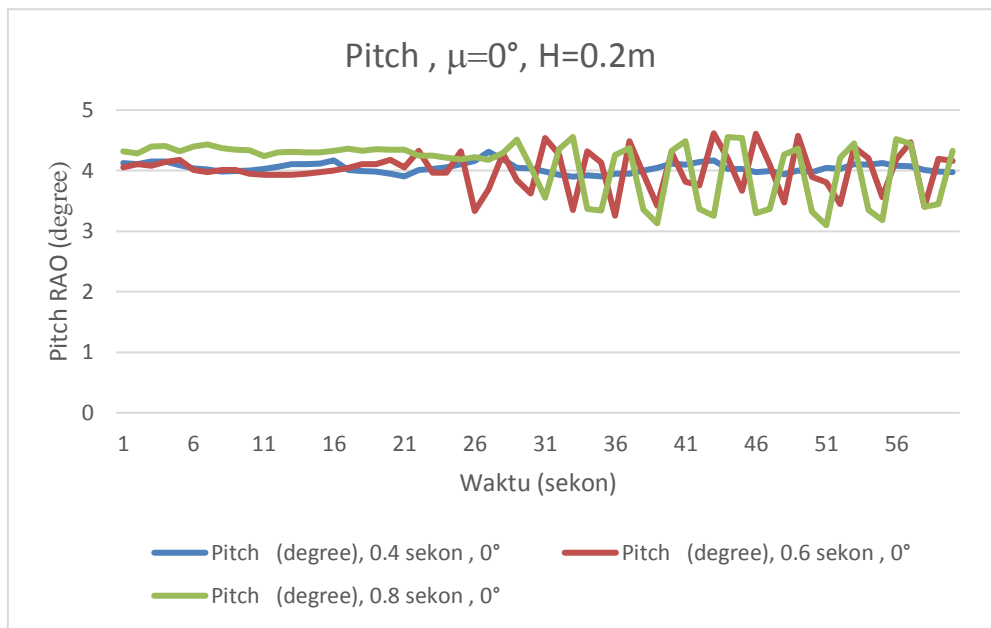


Gambar 19. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $H=0.2$

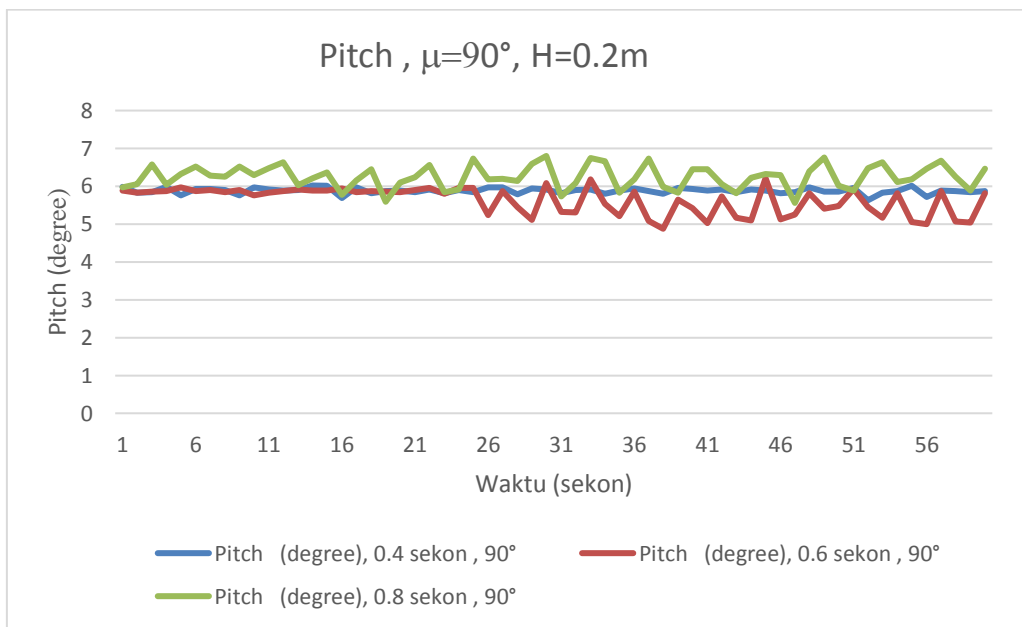


Gambar 20. Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $H=0.2$

Pada 3 grafik diatas dapat disimpulkan pada tinggi gelombang 0.2 m dan  $\mu=90^\circ$  pergerakan roll pada ponton mengalami naik turun secara signifikan.

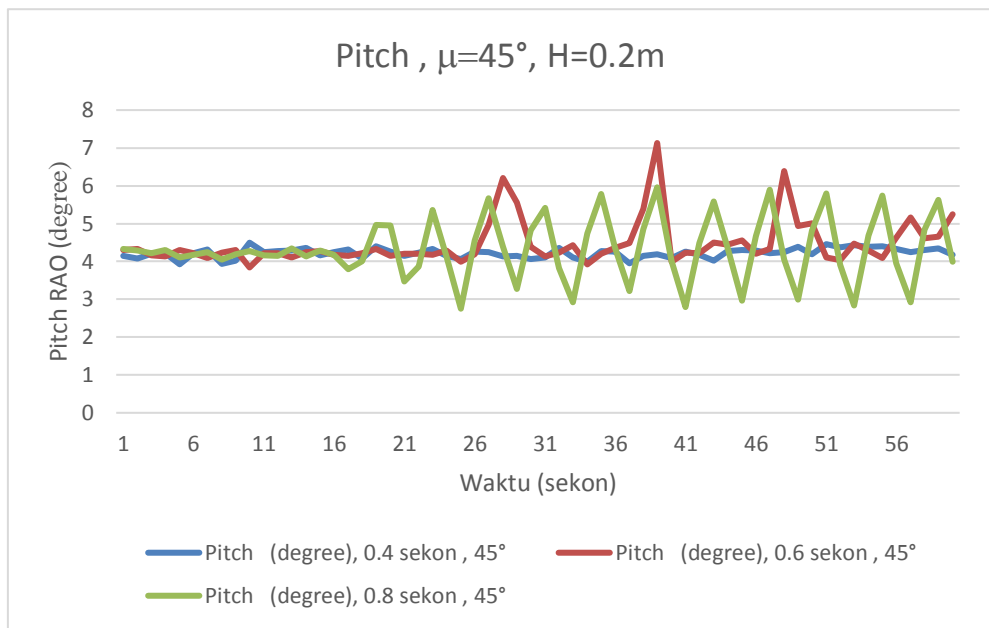


Gambar 21. Pitch  $\mu=0^\circ$  ,  $H=0.2$



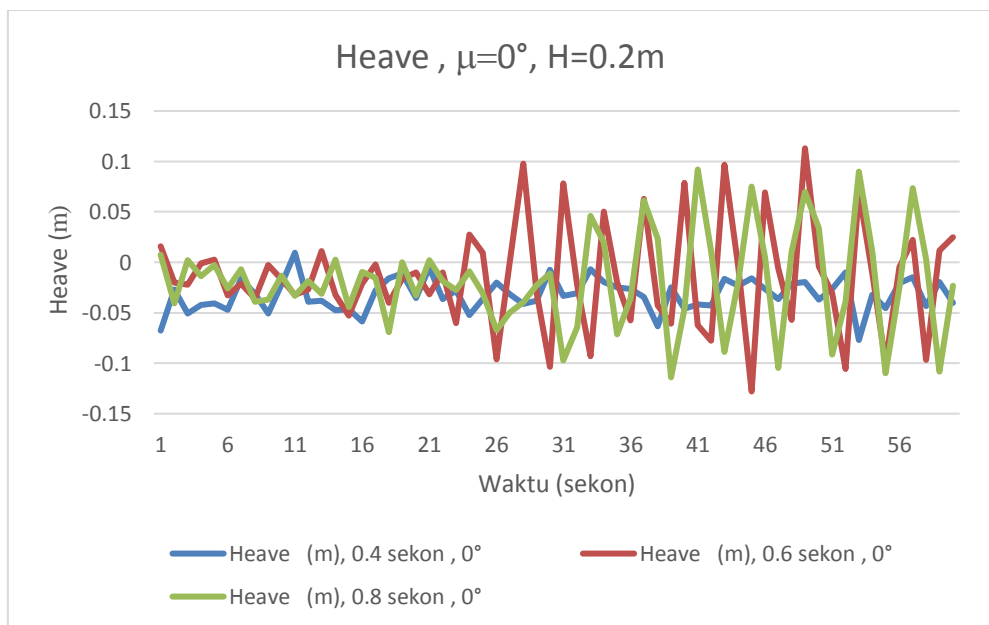
Gambar 22. Pitch  $\mu=90^\circ$  ,  $H=0.2$



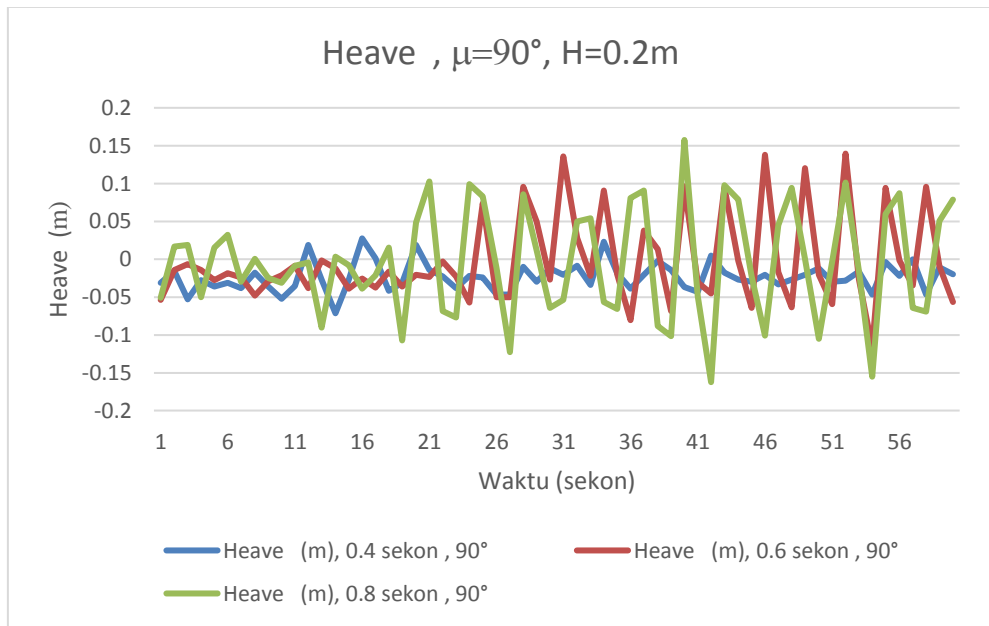


Gambar 23. Pitch  $\mu =45^\circ$  ,  $H=0.2$

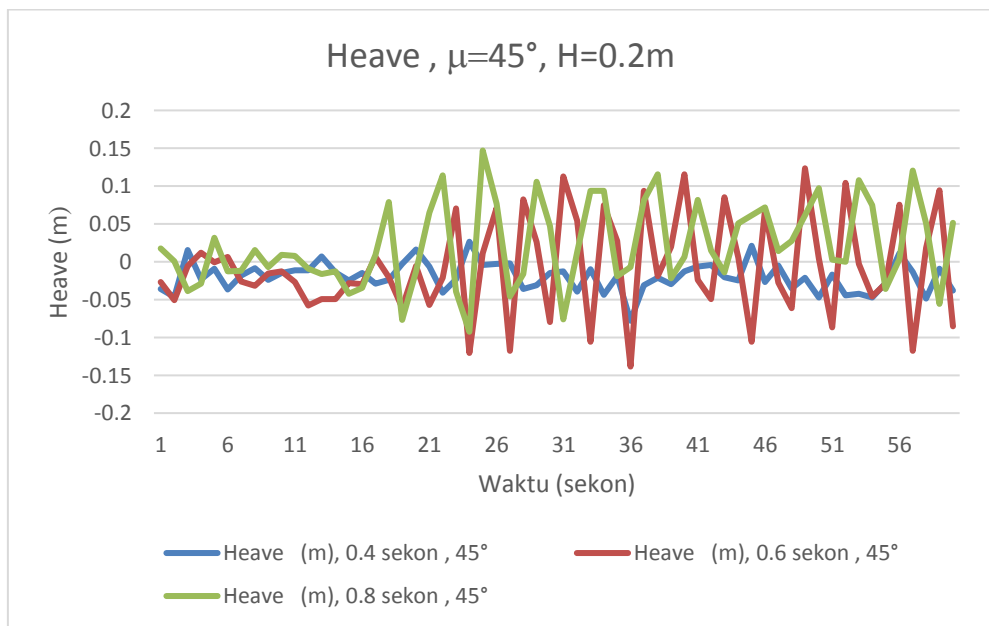
Pada 3 grafik diatas pada  $\mu =0^\circ$  dan  $\mu =90^\circ$  gerakan pitch pada ponton cenderung stabil dikarenakan gelombang datang tegak lurus dengan ponton. Pada sudut  $\mu =45^\circ$  ponton mengalami naik turun secara signifikan dikarenakan posisi datang arahnya gelombang tidak tegak lurus terhadap ponton.



Gambar 24. Heave  $\mu =0^\circ$  ,  $H=0.2$



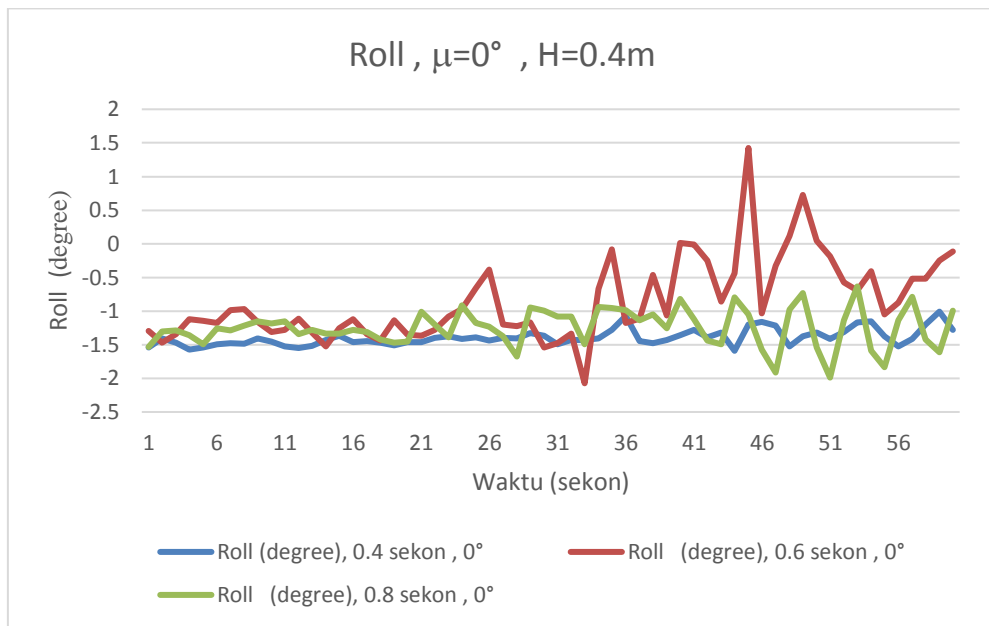
Gambar 25. Heave  $\mu = 90^\circ$  ,  $H=0.2$



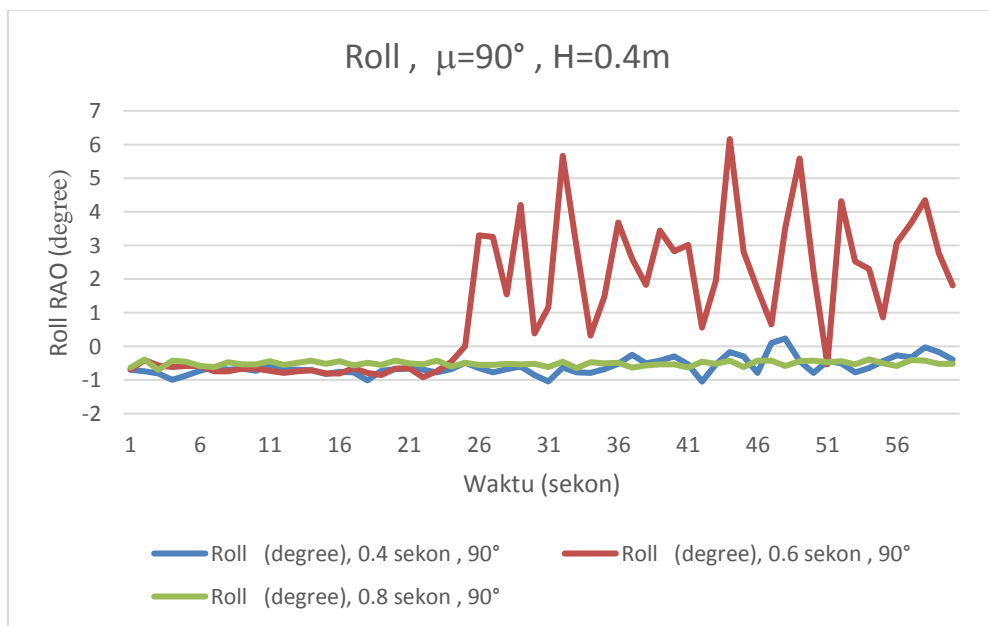
Gambar 26. Heave  $\mu = 45^\circ$  ,  $H=0.2$

Pola gerak ketiga grafik diatas cenderung identik. Namun, pada  $\mu = 0^\circ$  gerakan heave pada ponton mengalami nilai naik turun paling tinggi hingga  $\pm 0.15$ .

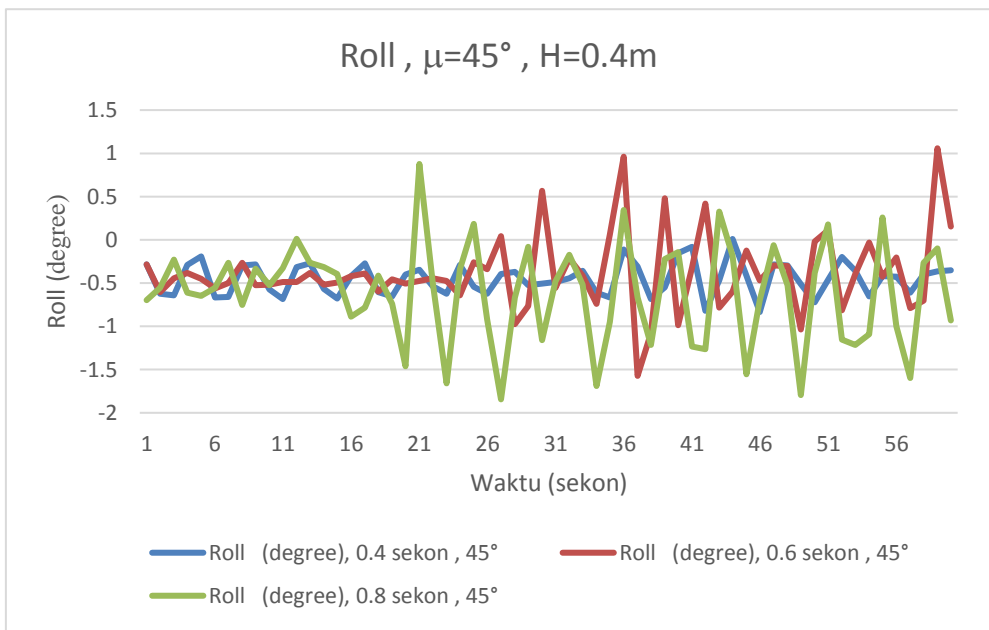
#### 4.6.2 Pengaruh variasi arah datang gelombang dan periode gelombang pada $H=0.4$ m



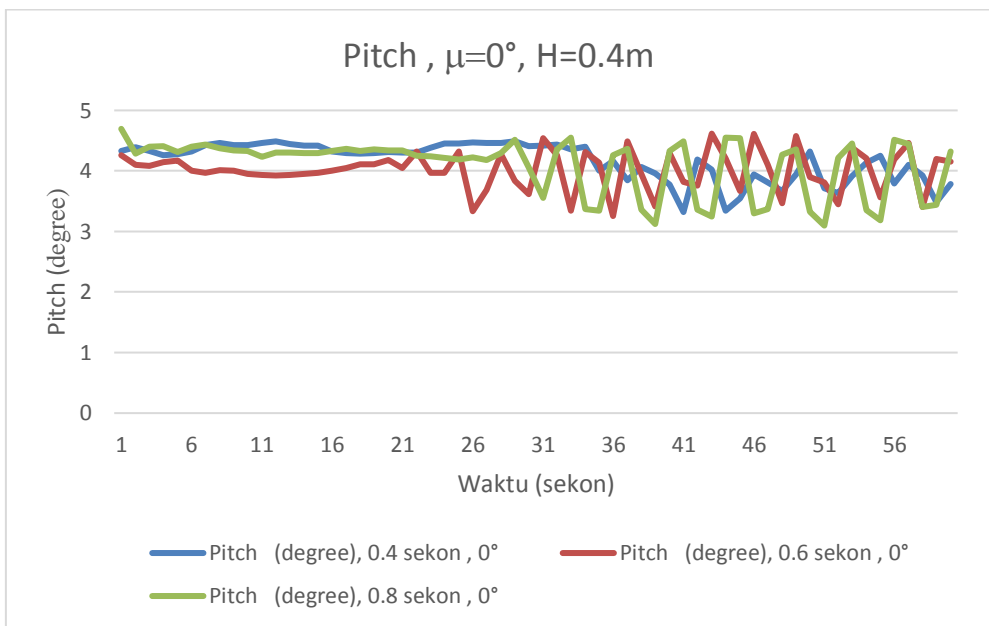
Gambar 27. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $H=0.4$



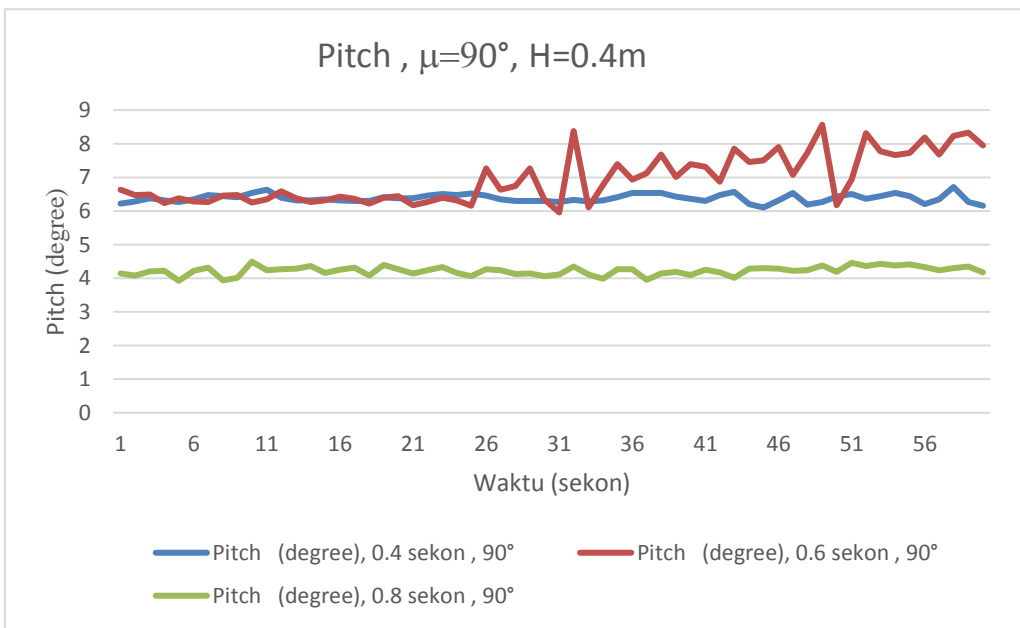
Gambar 28. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $H=0.4$



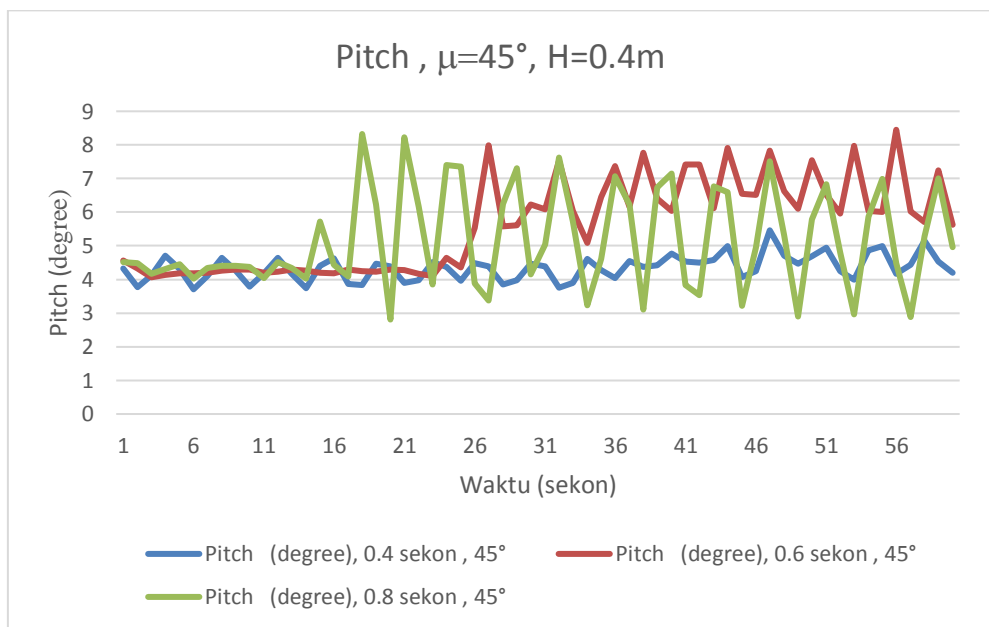
Gambar 29. Roll  $\mu = 45^\circ$ ,  $H=0.4$



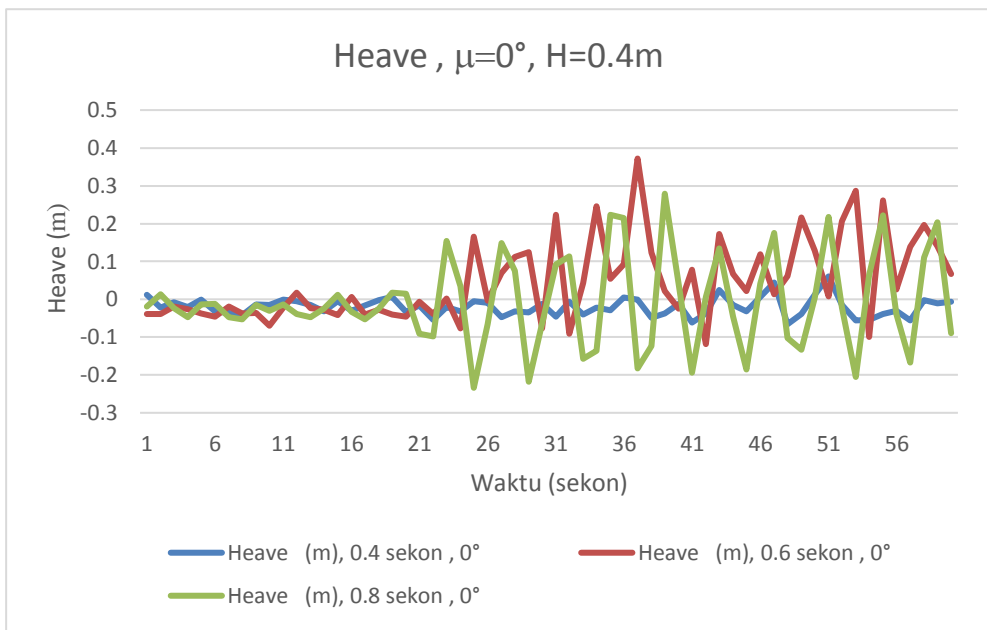
Gambar 30. Roll  $\mu = 0^\circ$ ,  $H=0.4$



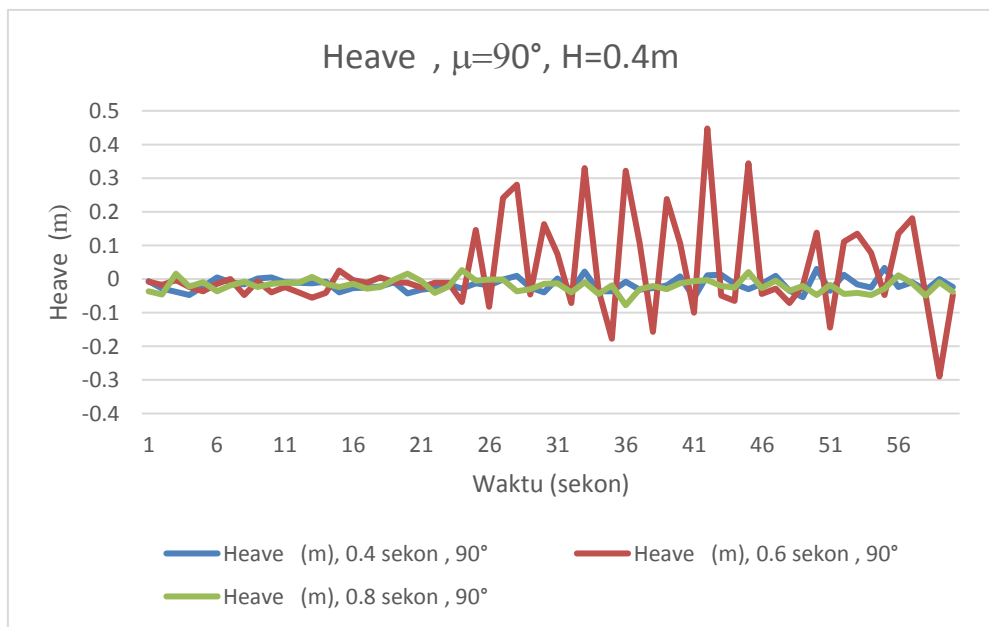
Gambar 31. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $H=0.4$



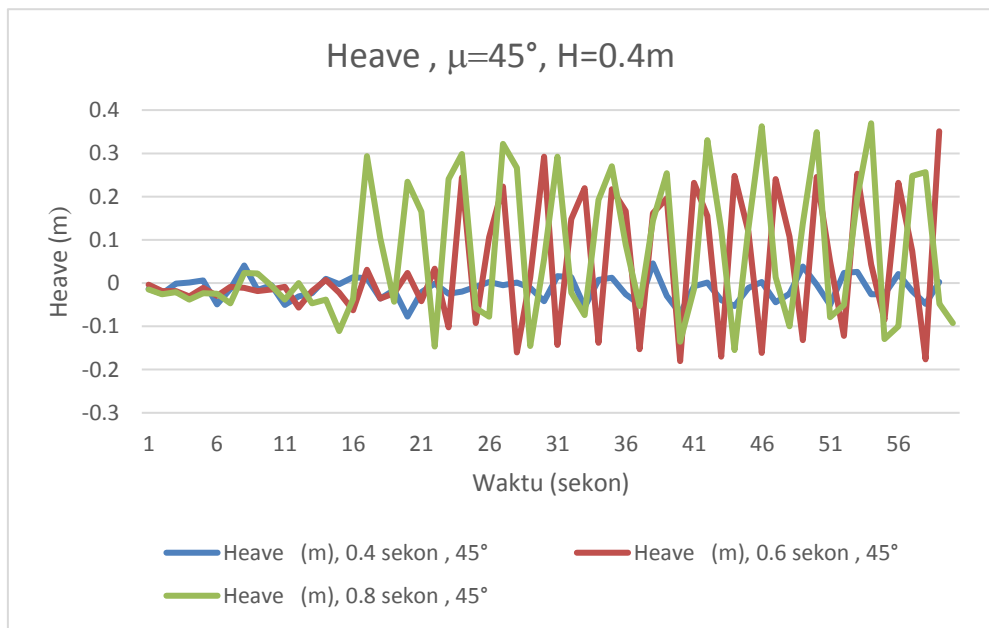
Gambar 32. Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $H=0.4$



Gambar 33. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $H=0.4$

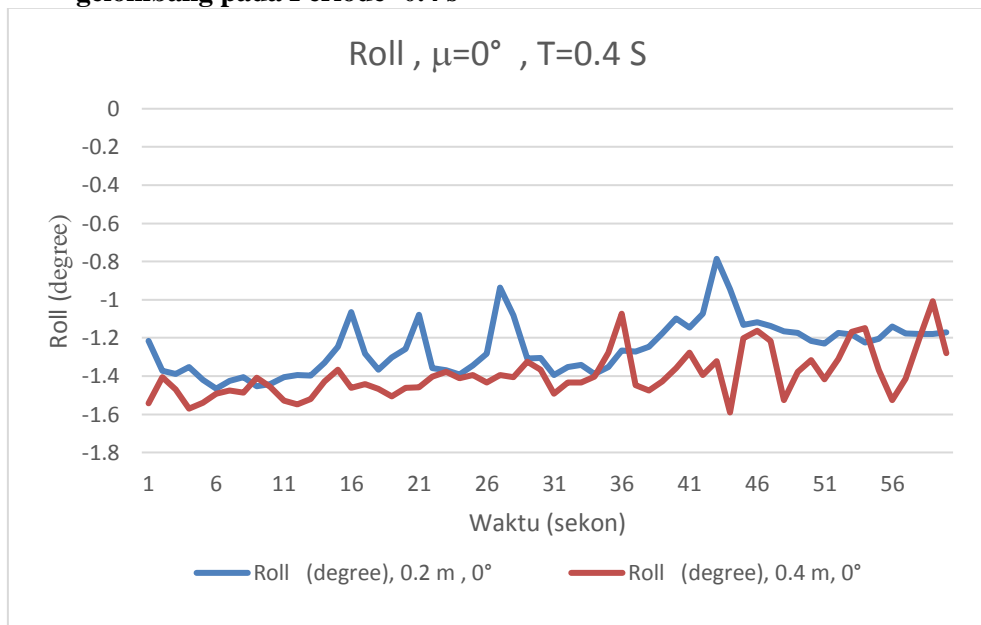


Gambar 34. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $H=0.4$

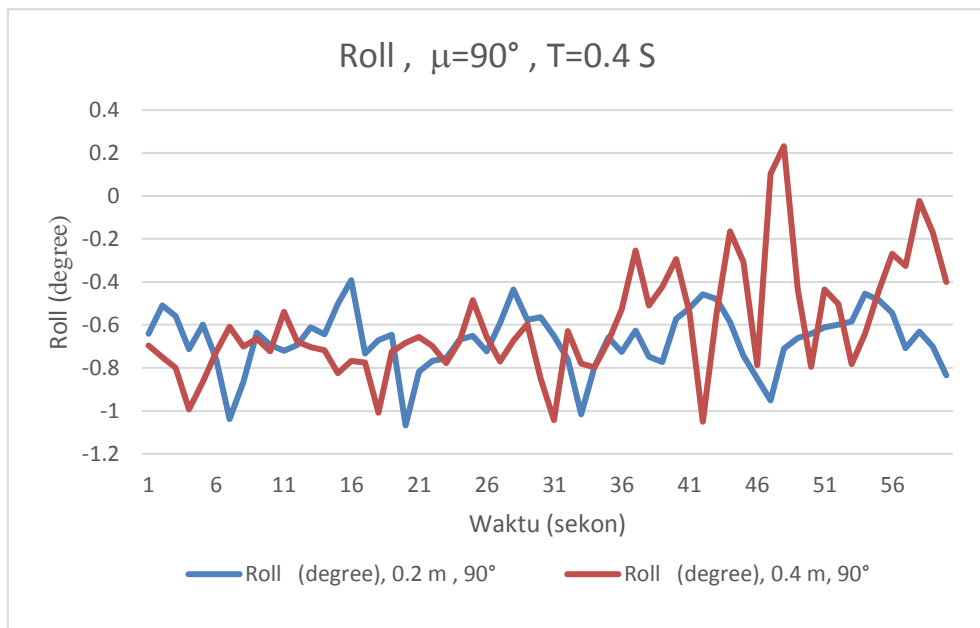


Gambar 35. Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $H=0.4$

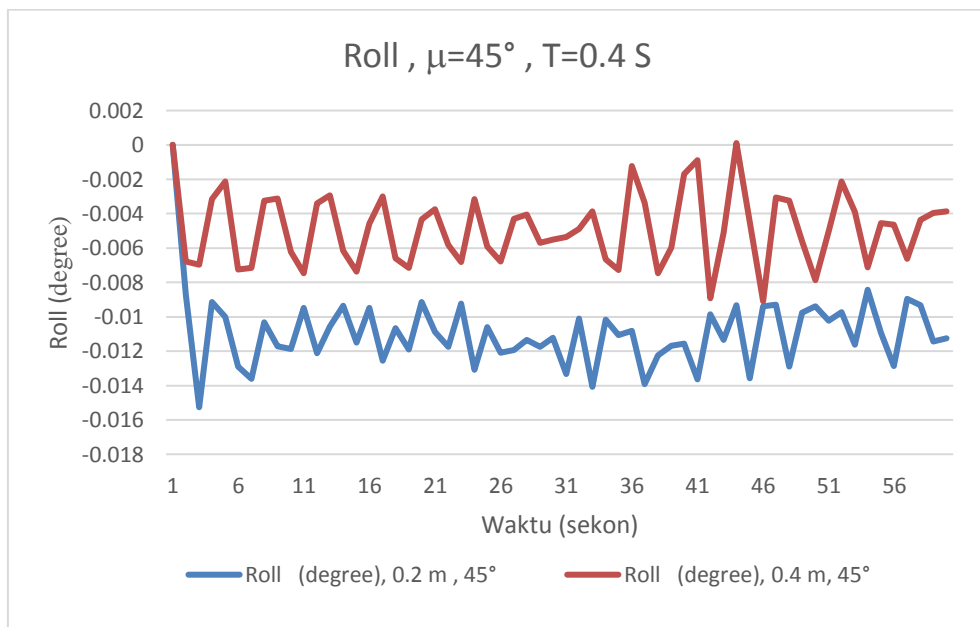
#### 4.6.3 Pengaruh variasi tinggi gelombang dan sudut arah datang gelombang pada Periode=0.4 s



Gambar 36. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.4\text{ S}$

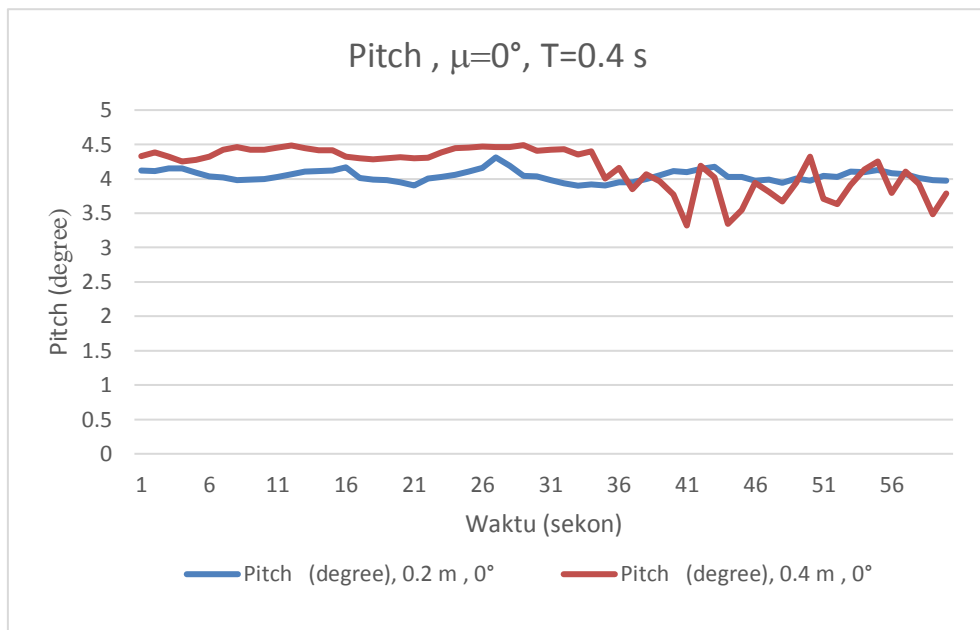


Gambar 37. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.4$  S

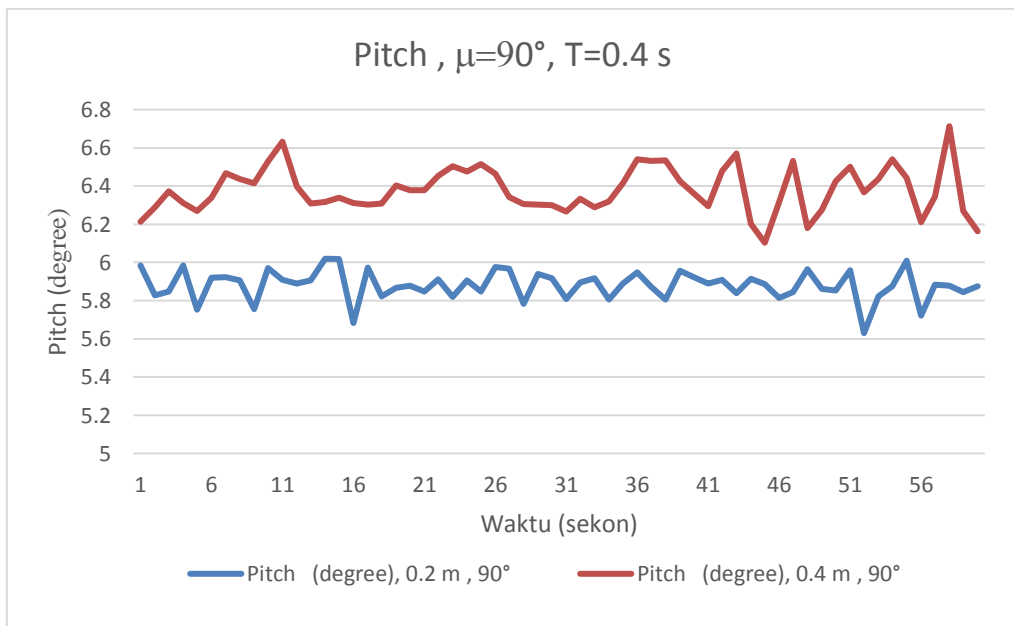


Gambar 38. Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.4$  S

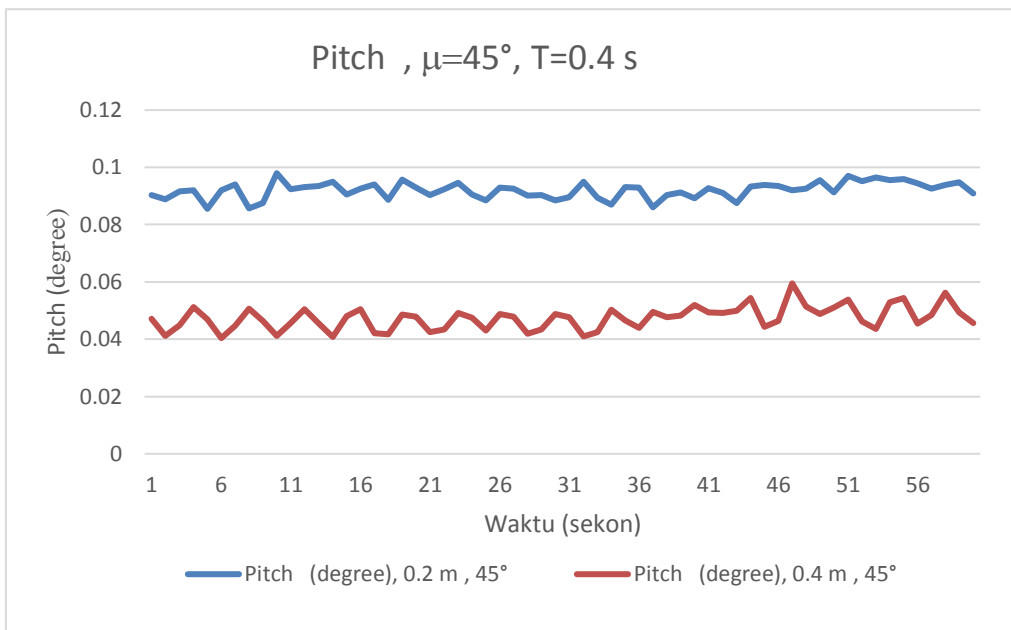




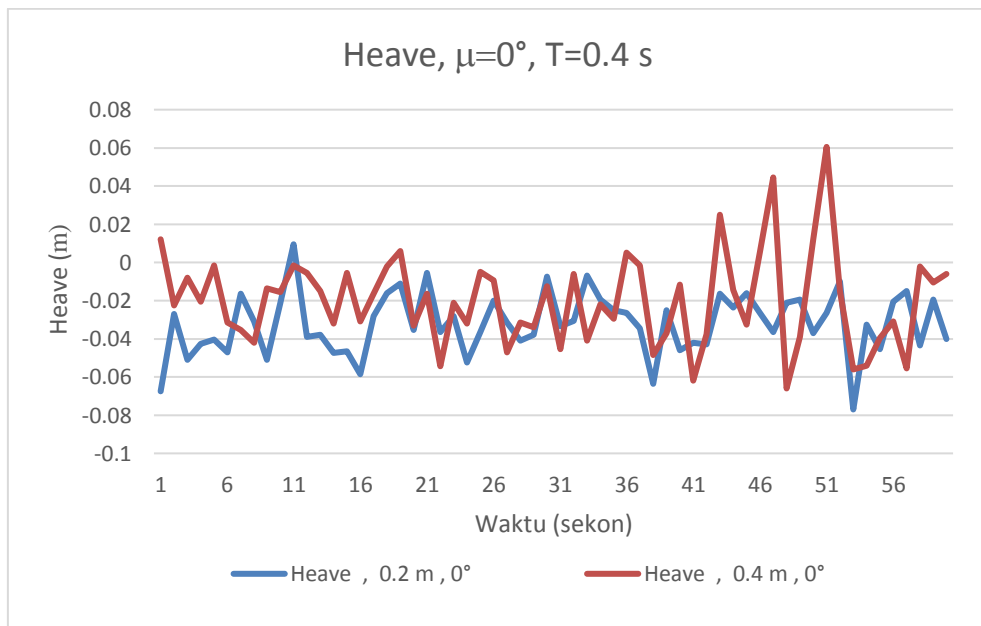
Gambar 39. Pitch  $\mu = 0^\circ$  ,  $T=0.4$  S



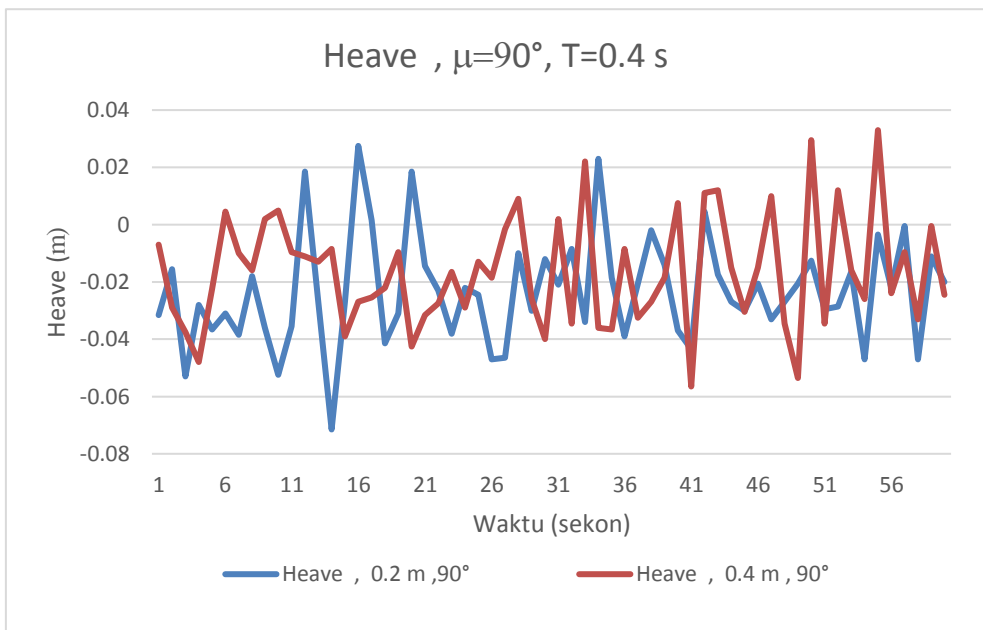
Gambar 40. Pitch  $\mu = 90^\circ$  ,  $T=0.4$  S



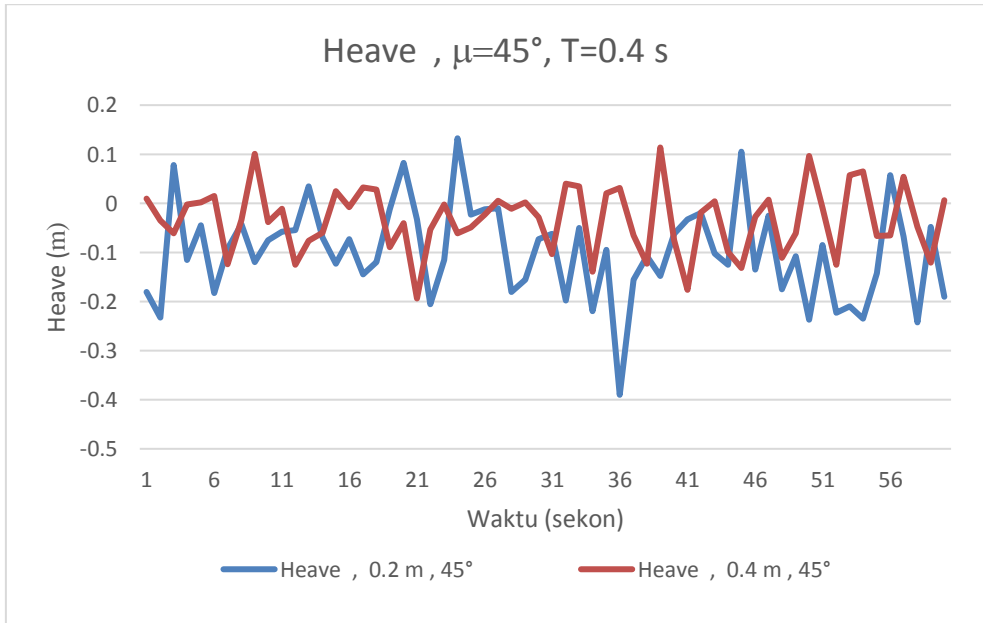
Gambar 41. Pitch  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.4$  S



Gambar 42. Heave  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.4$  S

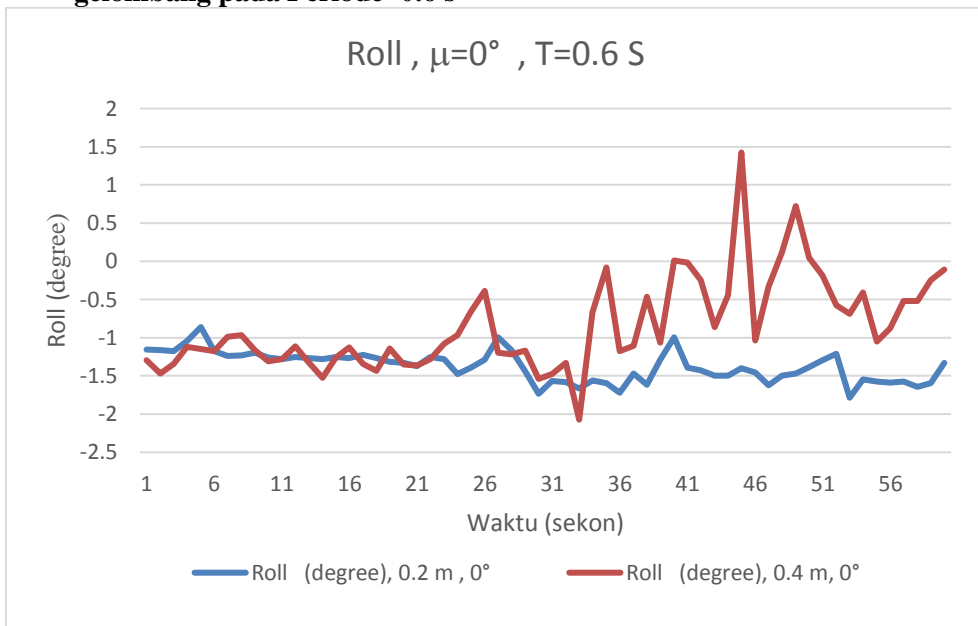


Gambar 43. Heave  $\mu = 90^\circ$  ,  $T=0.4$  S

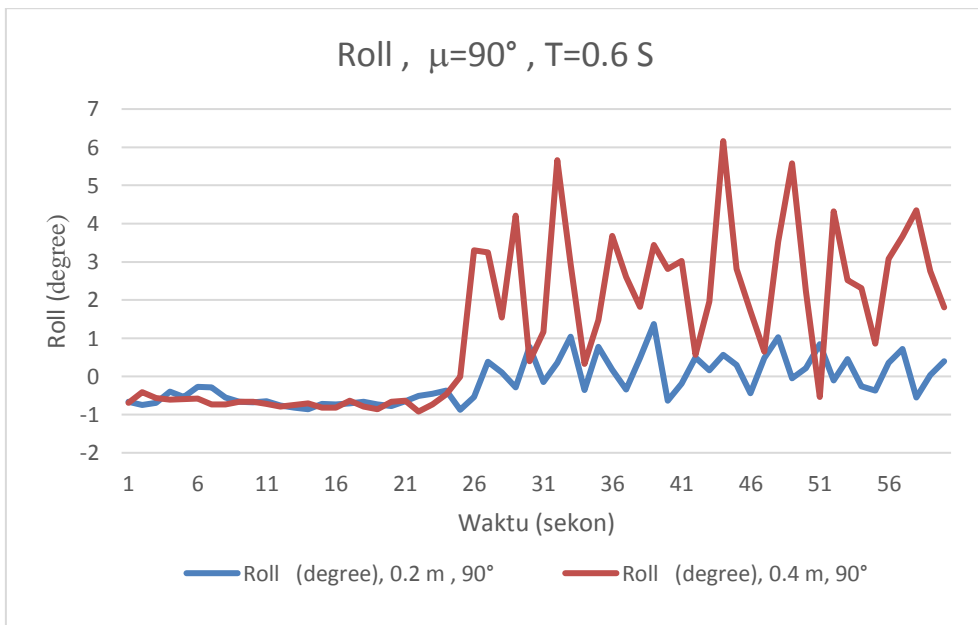


Gambar 44. Heave  $\mu = 45^\circ$  ,  $T=0.4$  S

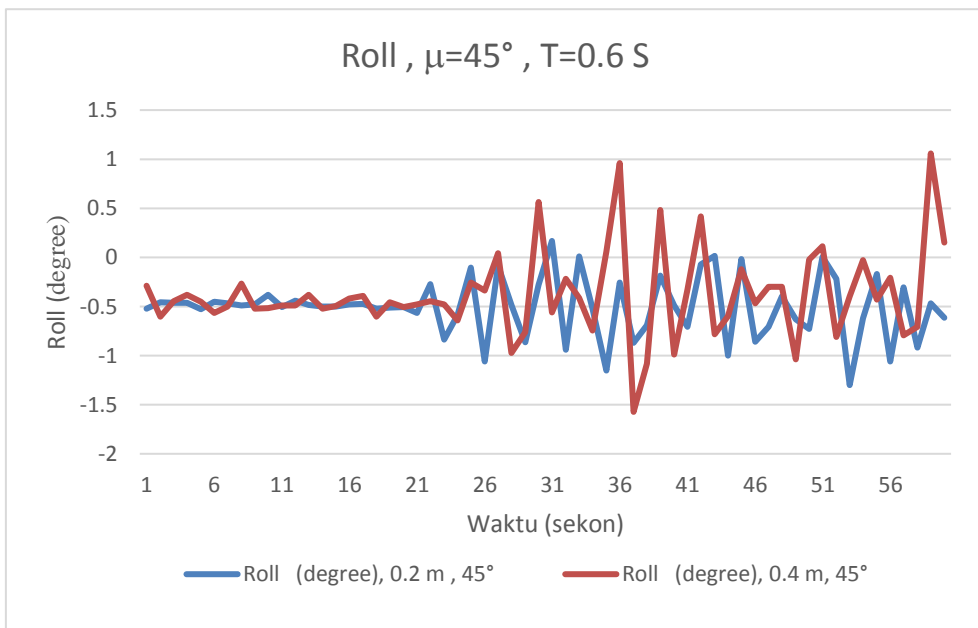
#### 4.6.4 Pengaruh variasi tinggi gelombang dan sudut arah datang gelombang pada Periode=0.6 s



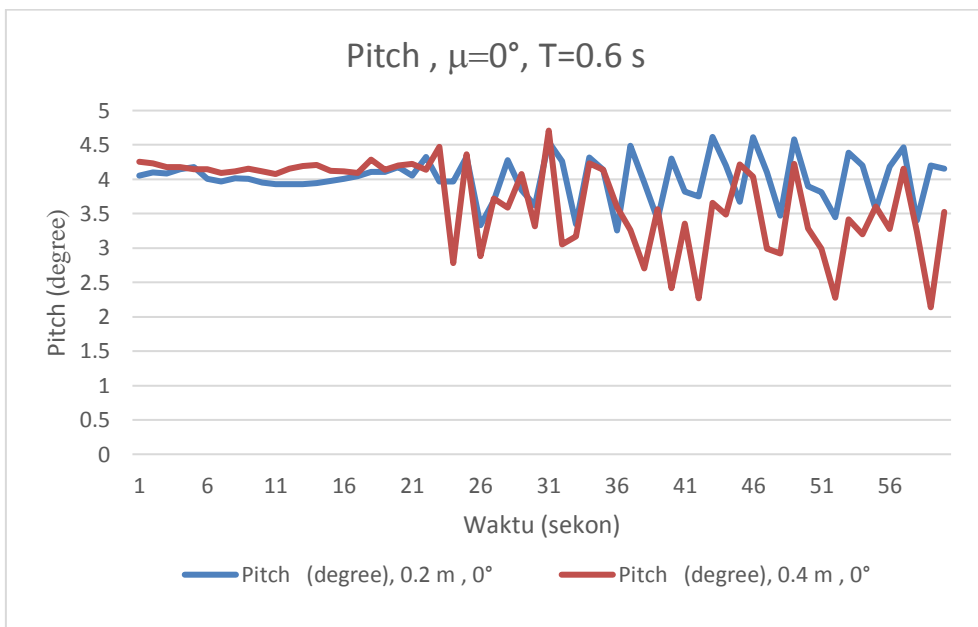
Gambar 45. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.6$  S



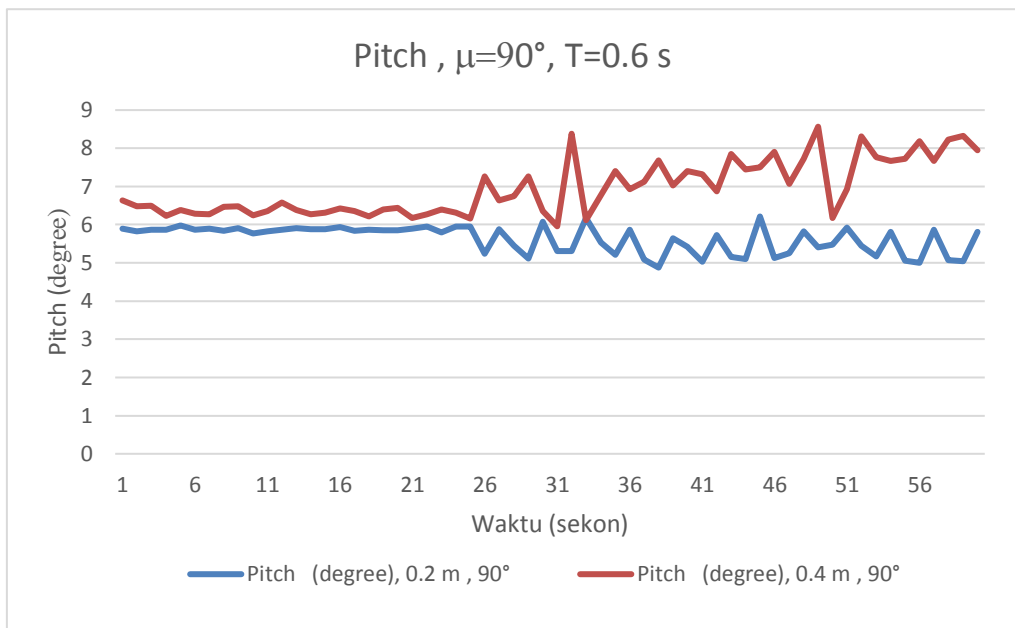
Gambar 46. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.6$  S



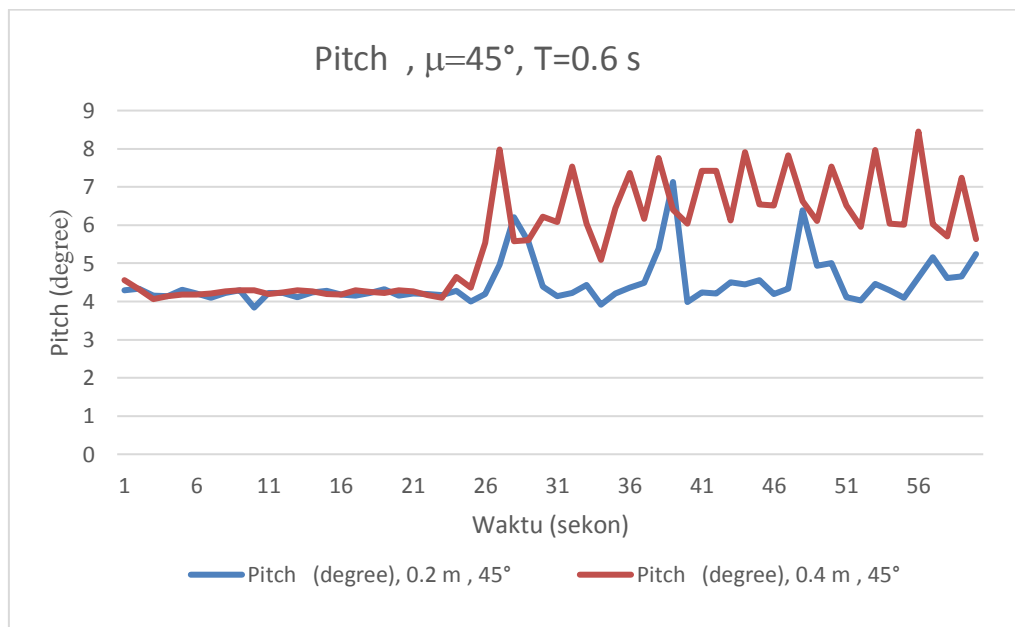
Gambar 47.Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.6$  S



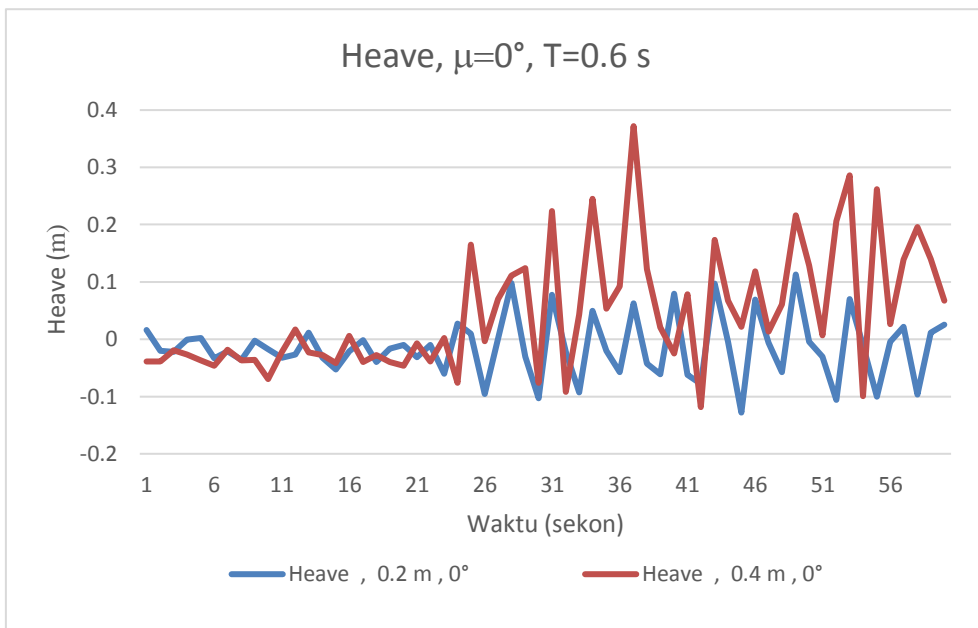
Gambar 48. Pitch  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.6$  S



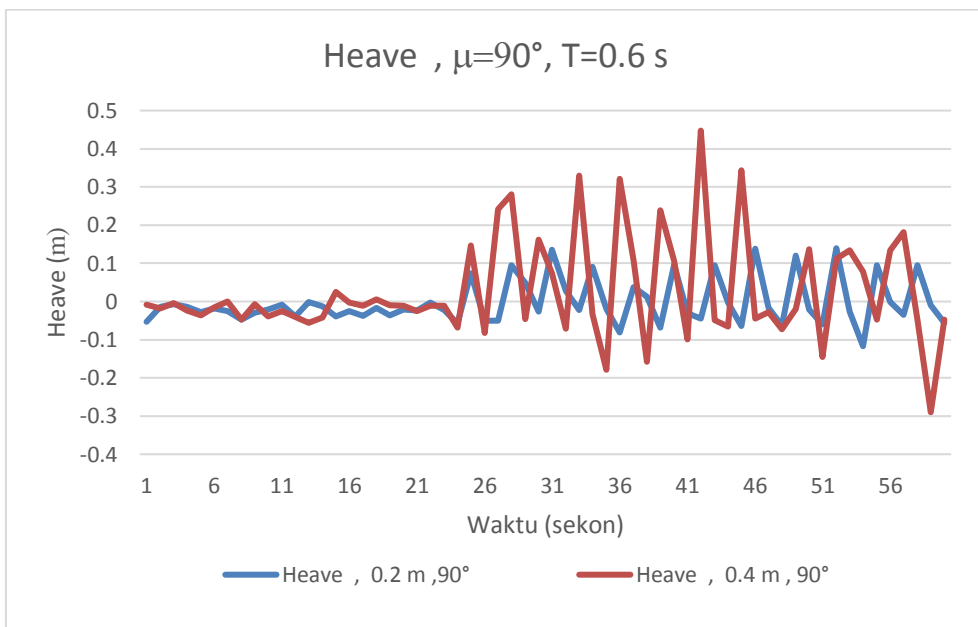
Gambar 49. Pitch  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.6$  S



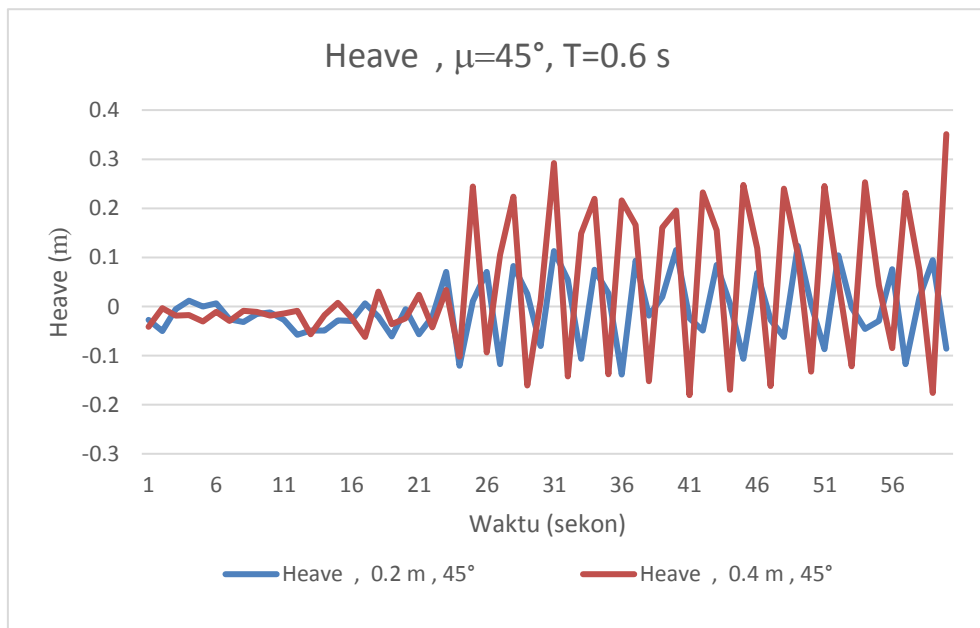
Gambar 50. Pitch  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.6$  S



Gambar 51. Heave  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.6$  S

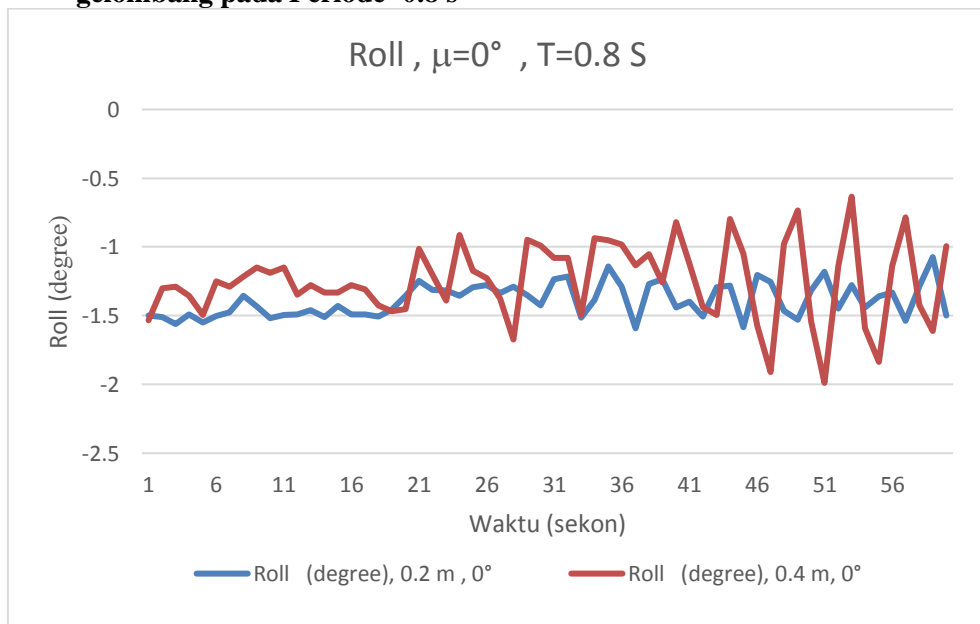


Gambar 52. Heave  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.6$  S



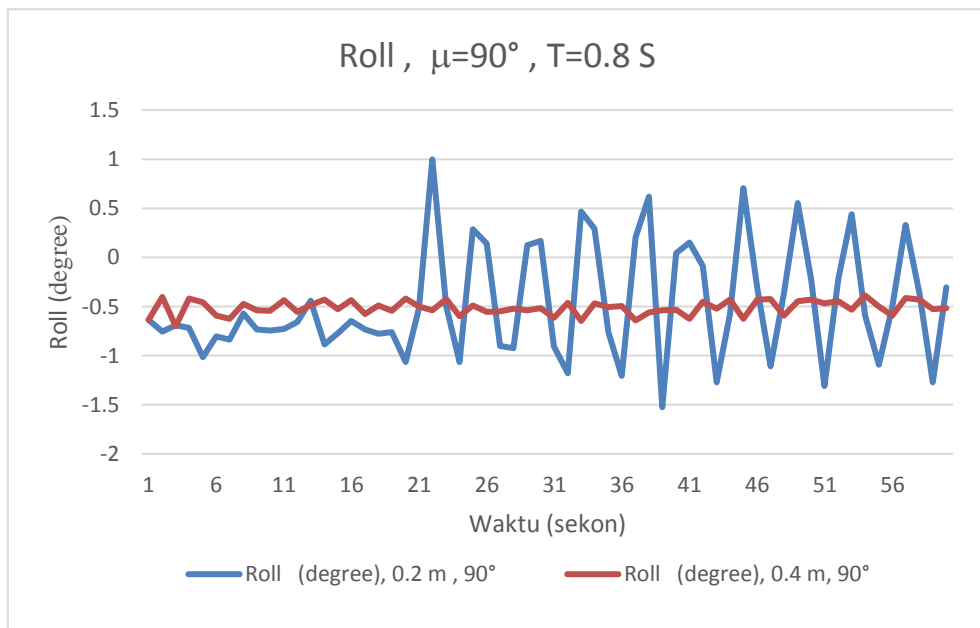
Gambar 53. Heave  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.6$  S

#### 4.6.5 Pengaruh variasi tinggi gelombang dan sudut arah datang gelombang pada Periode=0.8 s

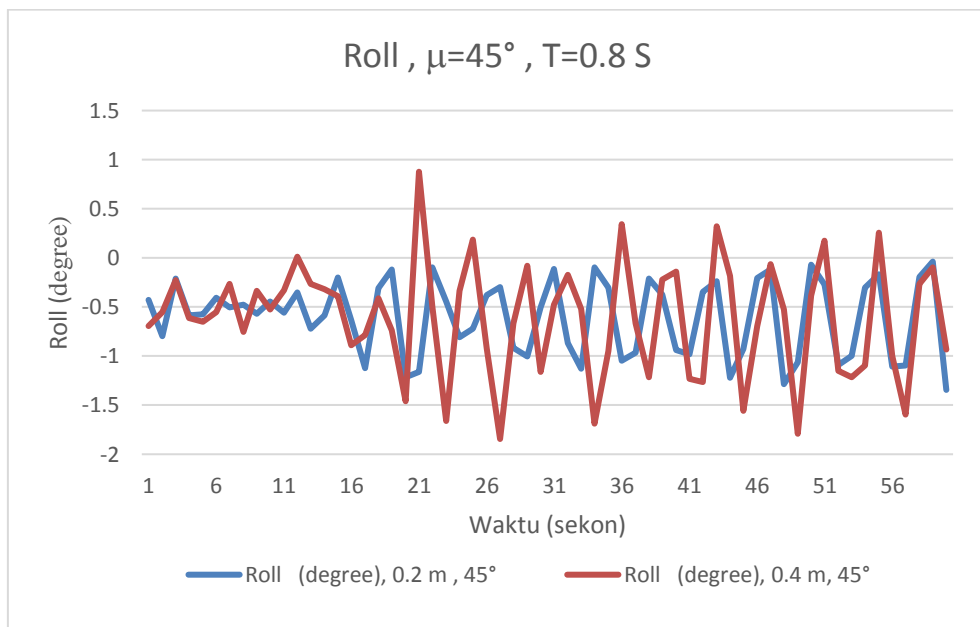


Gambar 54. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.8$  S

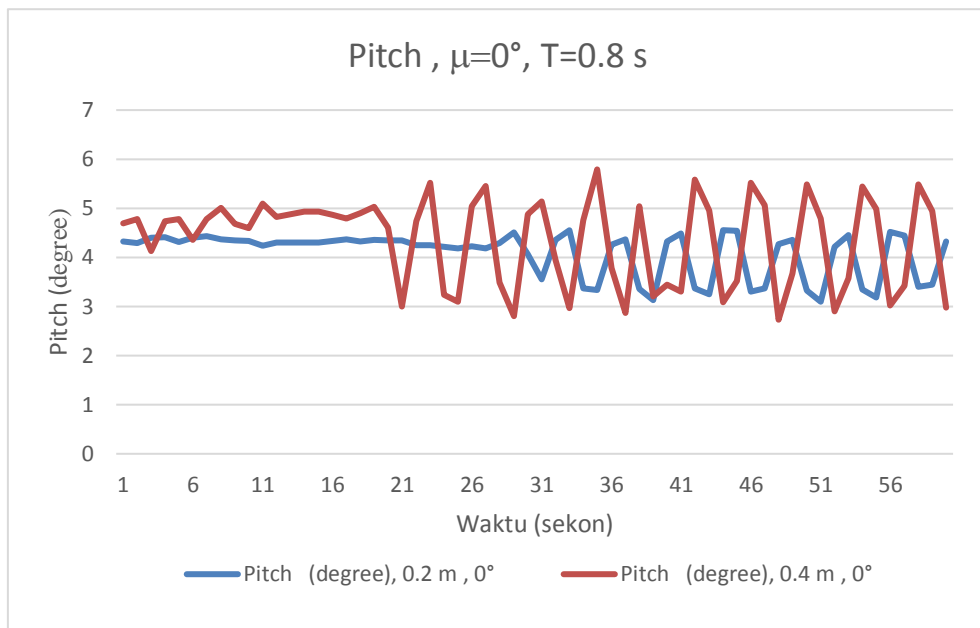




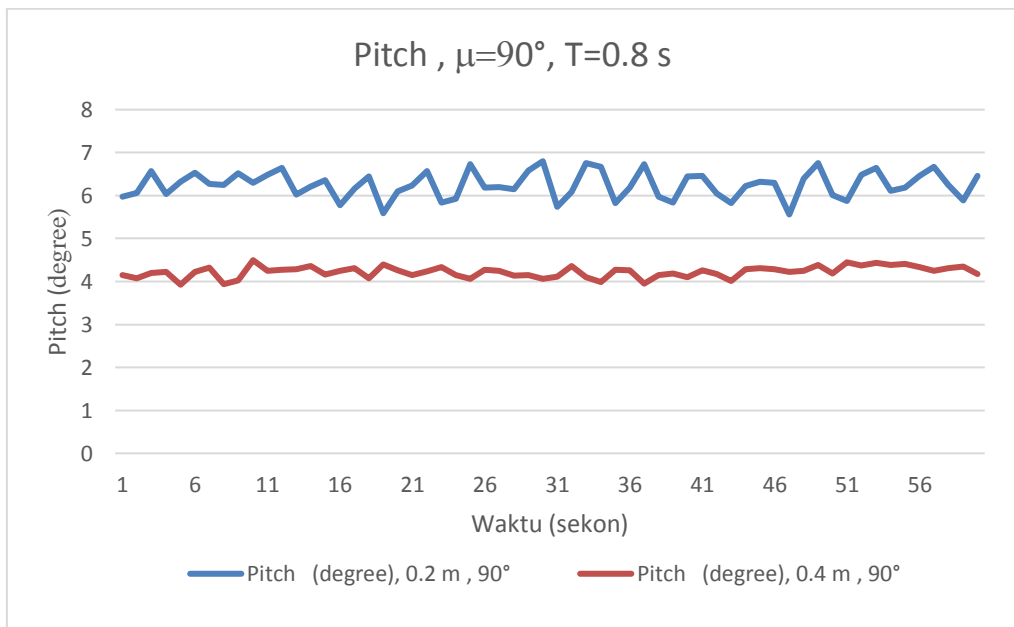
Gambar 55. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.8$  S



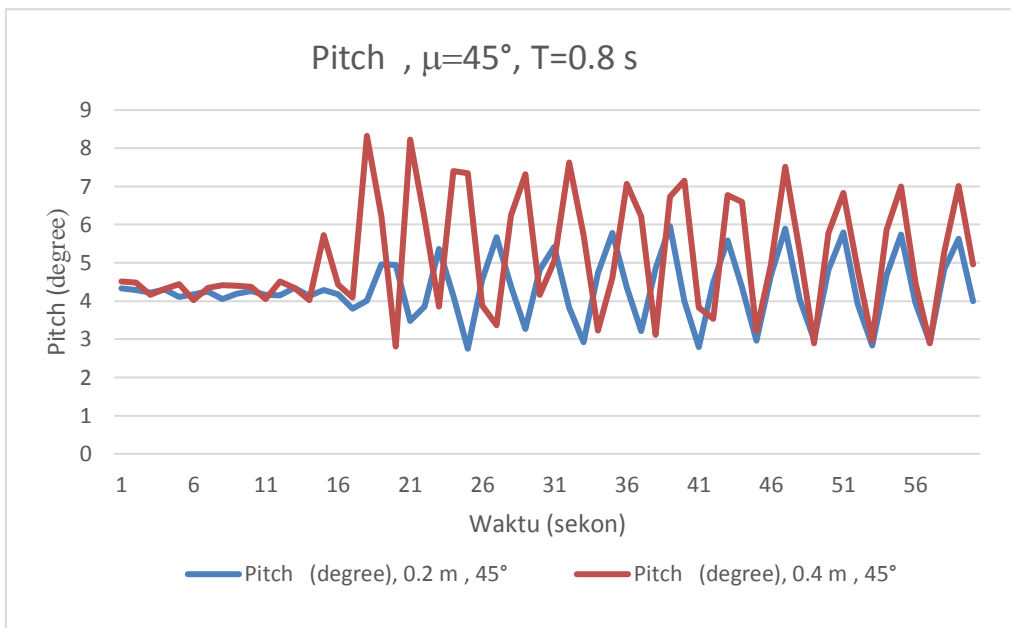
Gambar 56. Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.8$  S



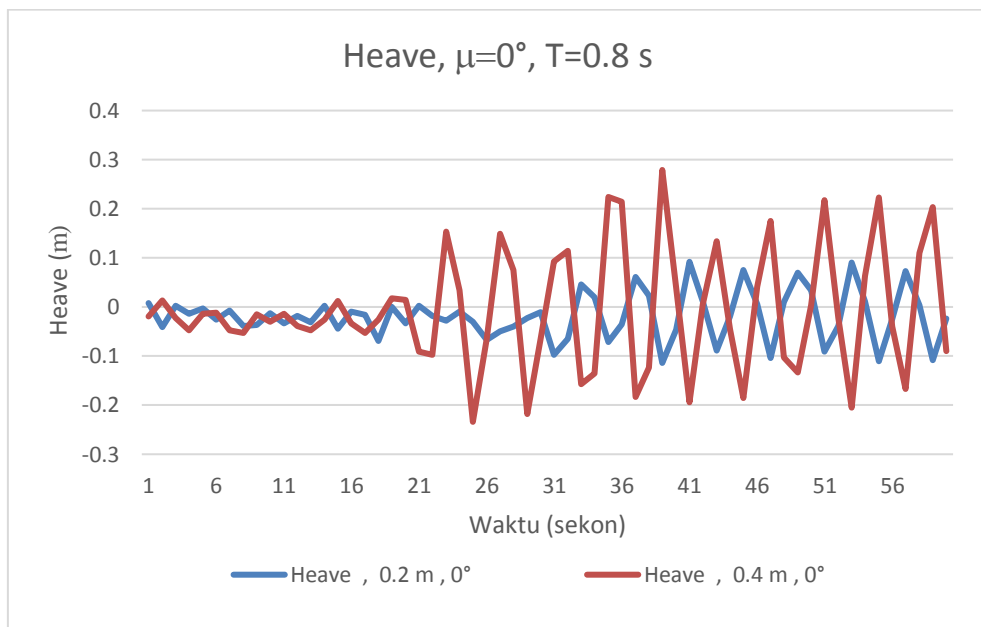
Gambar 57. Pitch  $\mu = 0^\circ$  ,  $T=0.8$  S



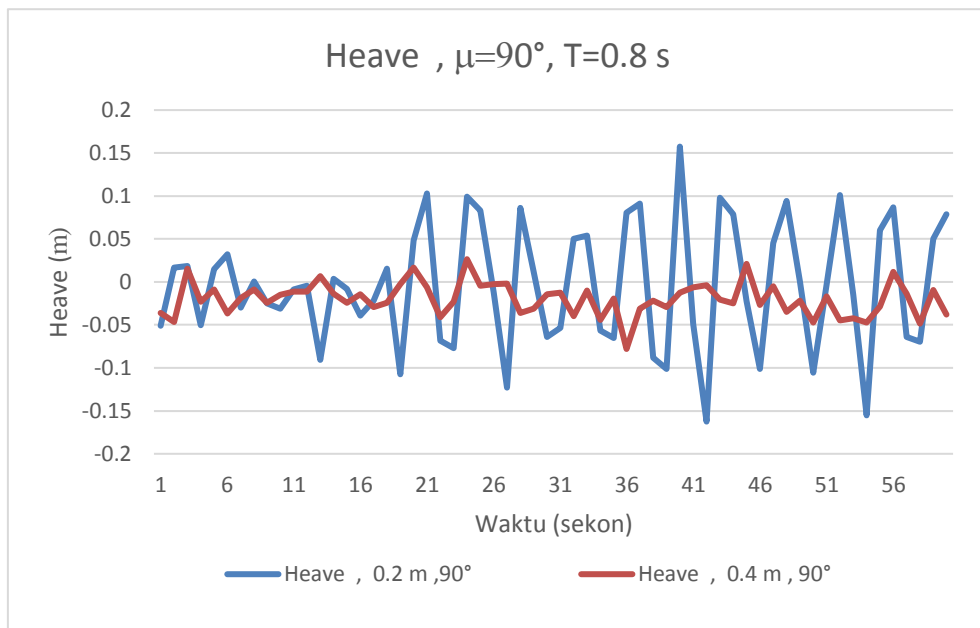
Gambar 58. Pitch  $\mu = 90^\circ$  ,  $T=0.8$  S



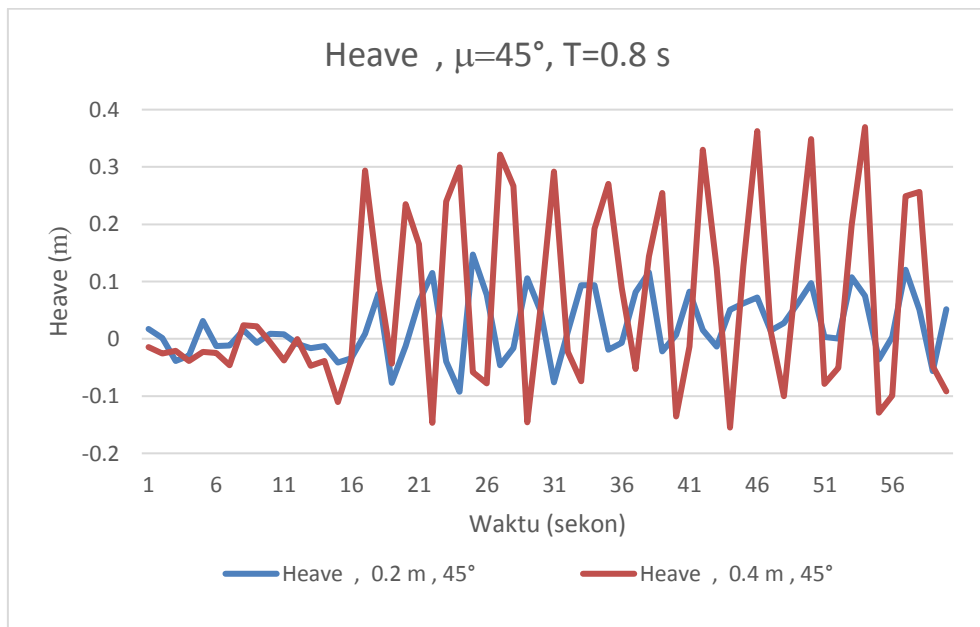
Gambar 59. Pitch  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.8$  S



Gambar 60. Heave  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.8$  S

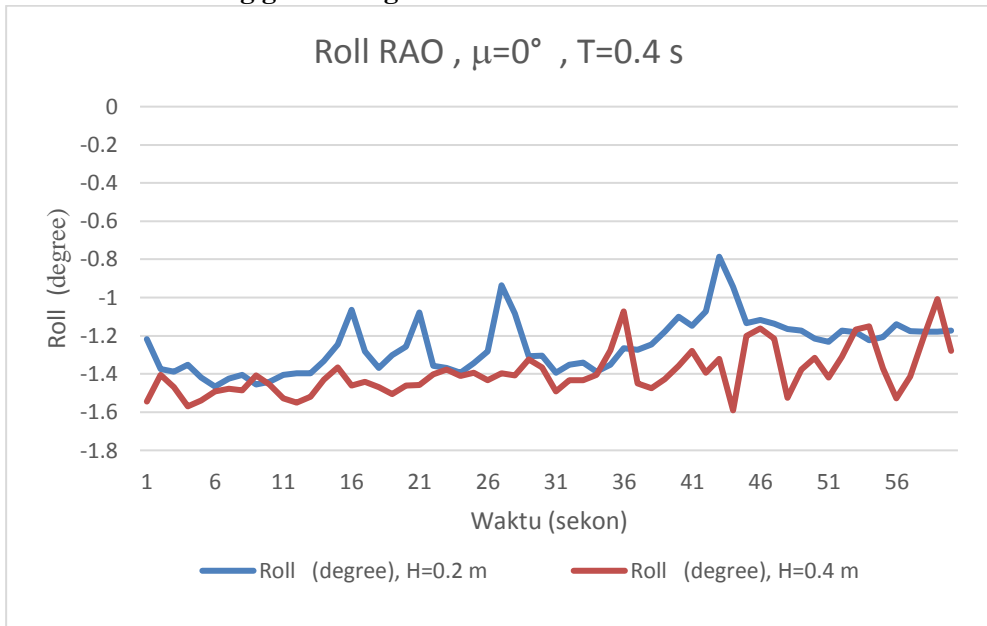


Gambar 61. Heave  $\mu = 90^\circ$  ,  $T=0.8$  S

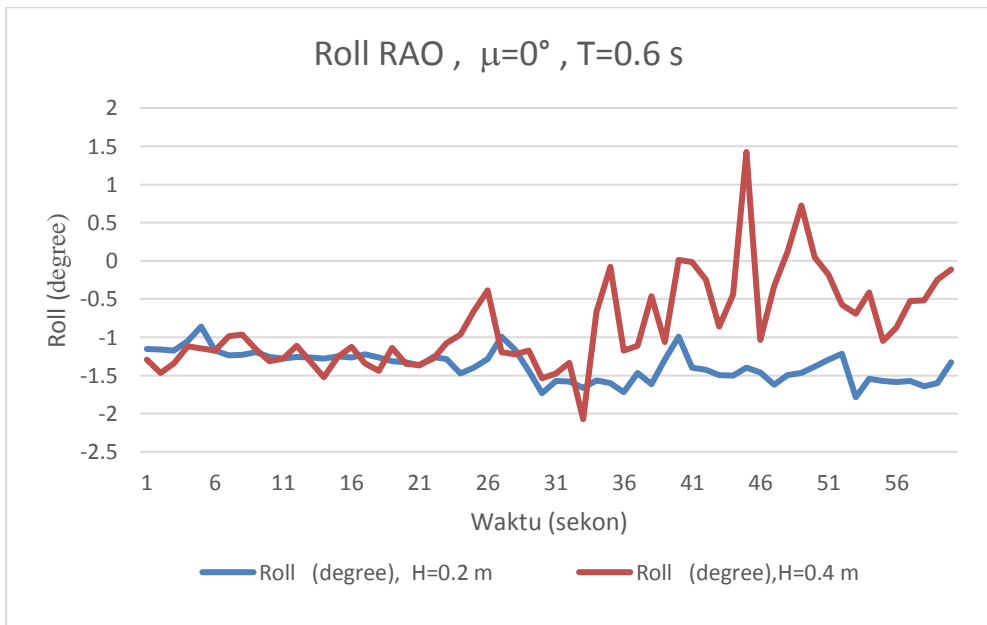


Gambar 62. Heave  $\mu = 45^\circ$  ,  $T=0.8$  S

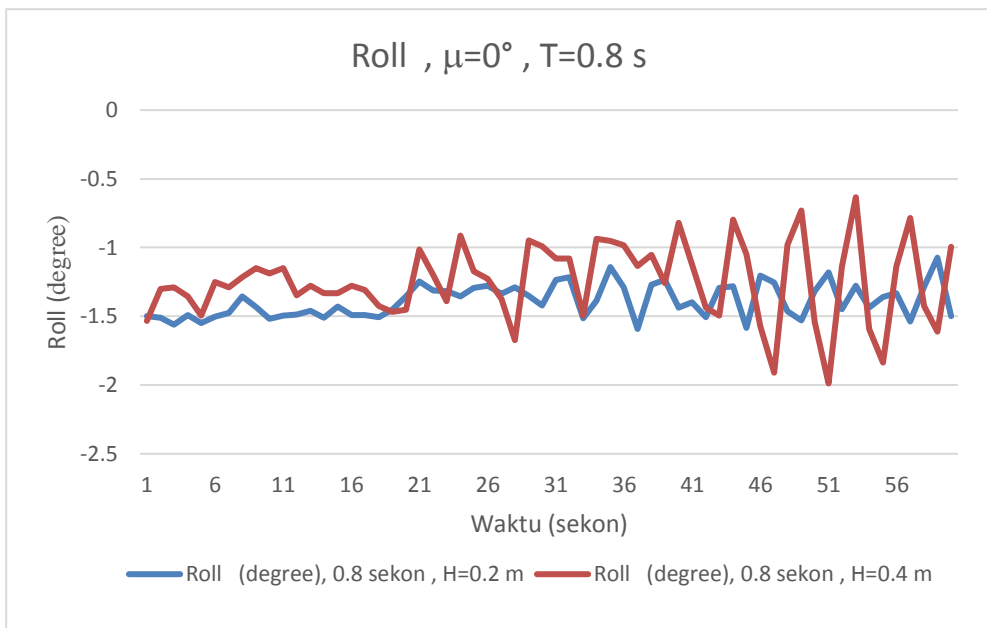
#### 4.6.6 Pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang $0^\circ$



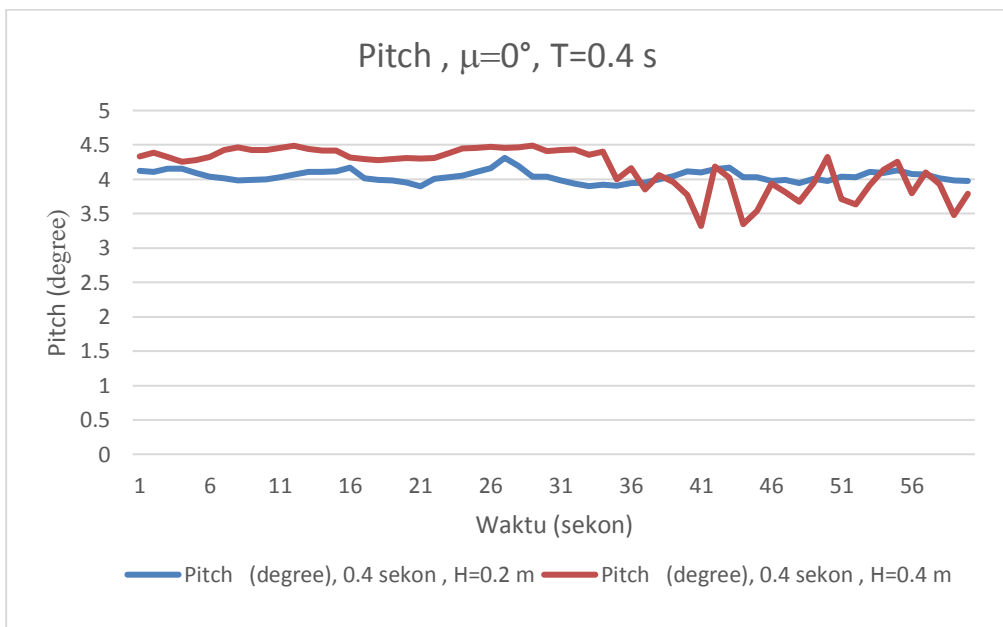
Gambar 63. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.4$  S



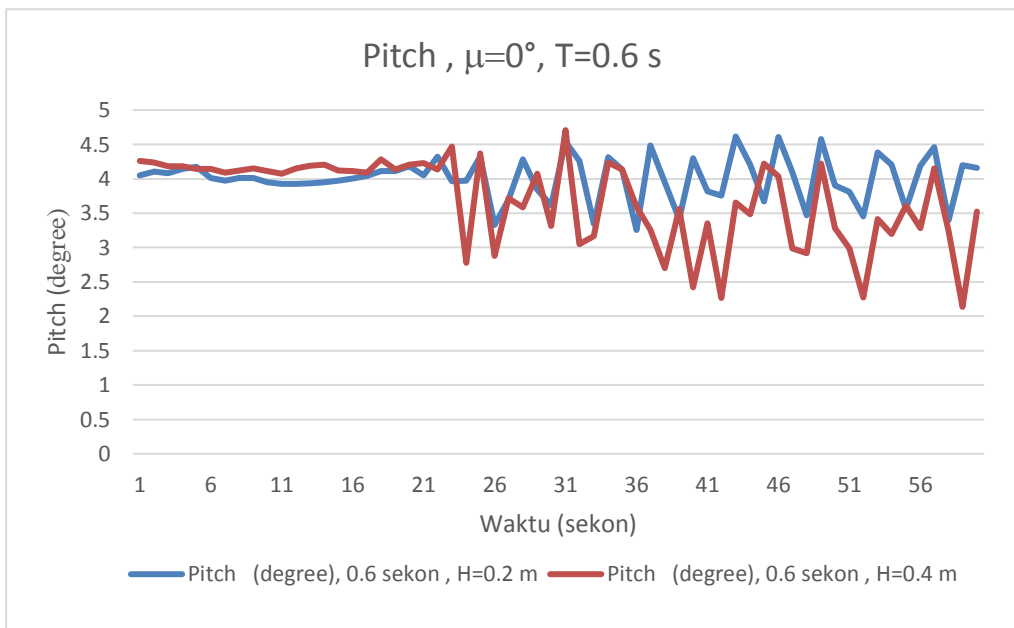
Gambar 64. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.6$  S



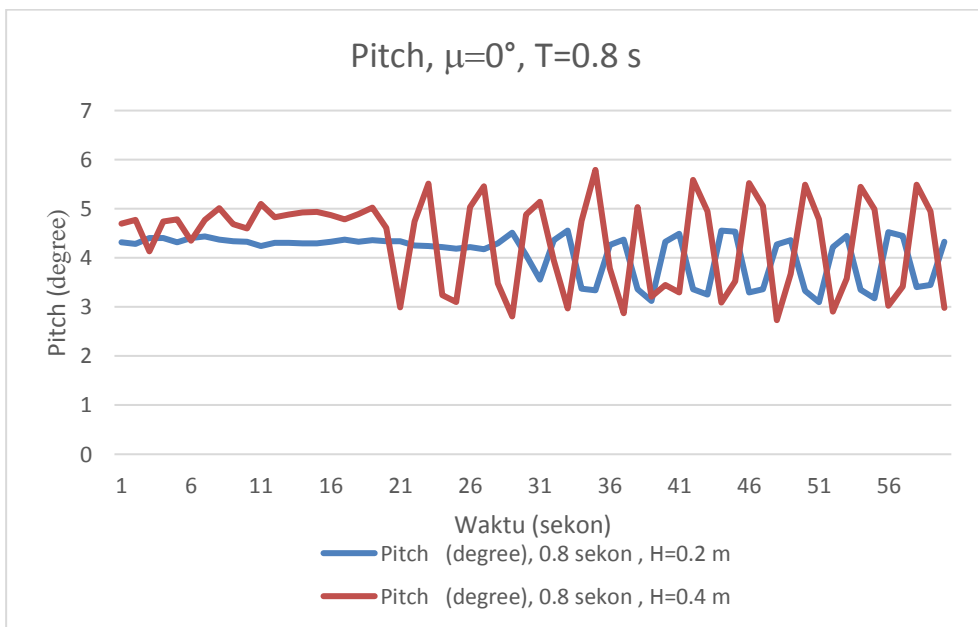
Gambar 65. Roll  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.8$  S



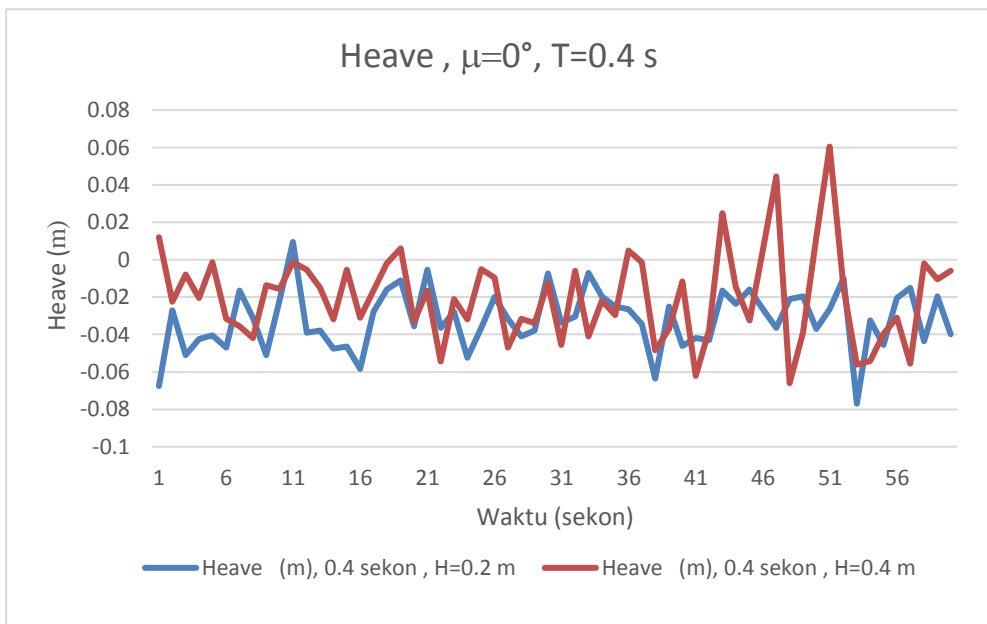
Gambar 66. Pitch  $\mu=0^\circ$  ,  $T=0.4$  S



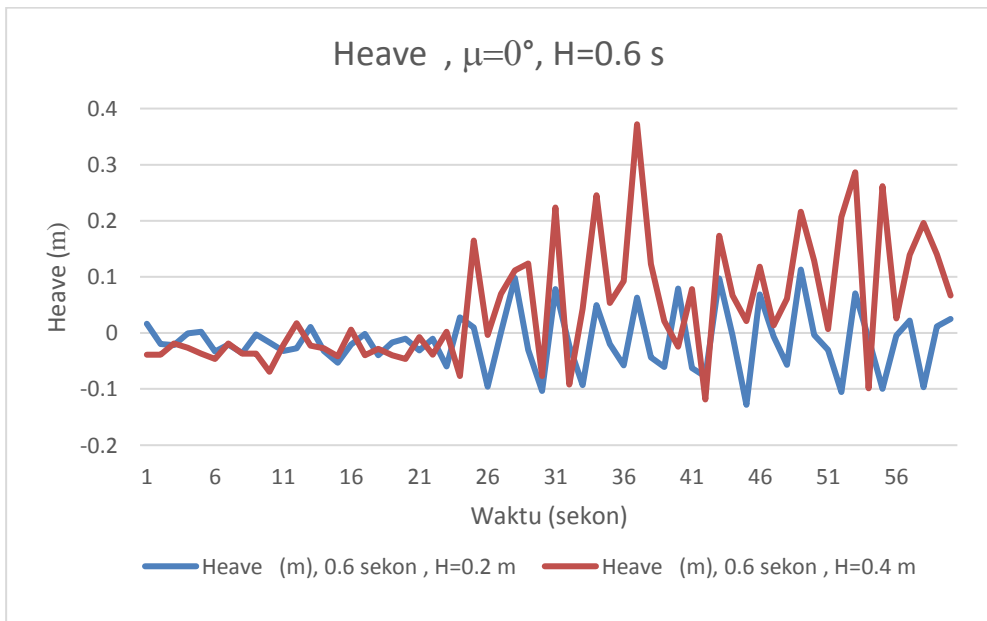
Gambar 67. Pitch  $\mu=0^\circ$ ,  $T=0.6$  S



Gambar 68. Pitch  $\mu=0^\circ$ ,  $T=0.8$  S

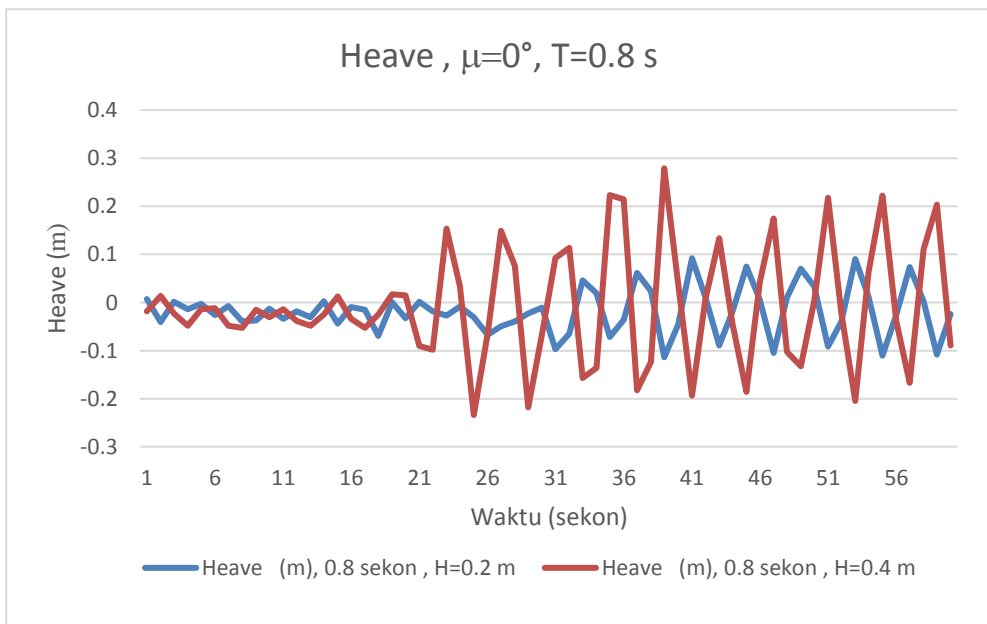


**Gambar 69. Heave  $\mu =0^\circ$  ,  $T=0.4$  S**



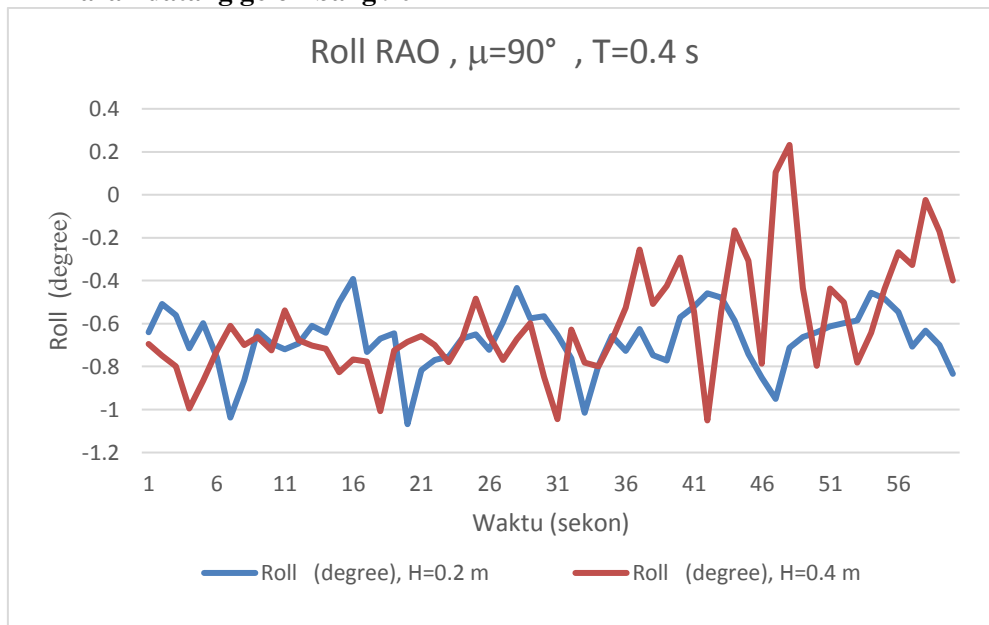
**Gambar 70. Heave  $\mu =0^\circ$  ,  $T=0.6$  S**



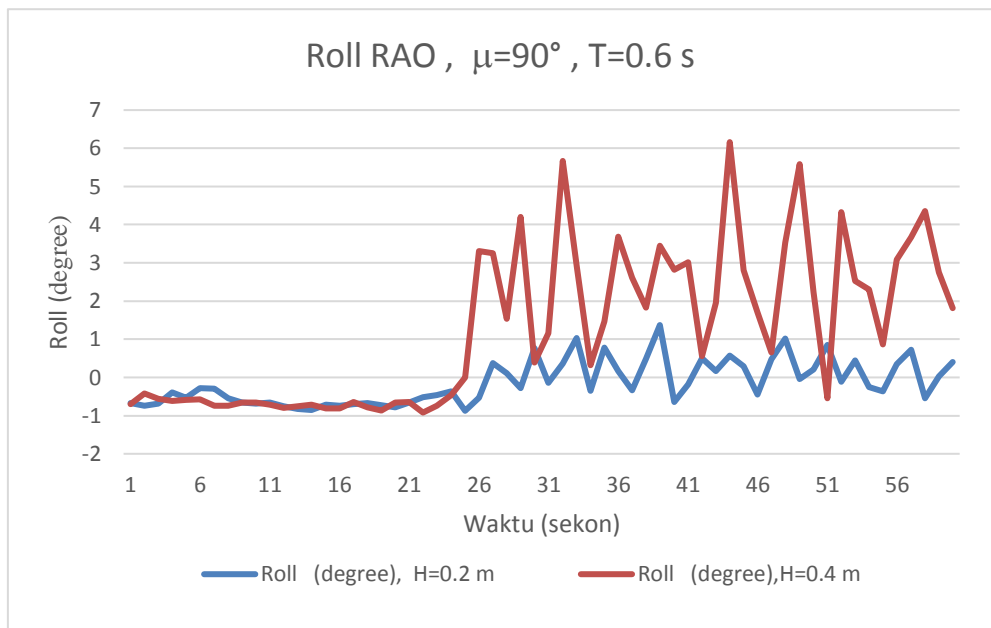


Gambar 71. Heave  $\mu = 0^\circ$  ,  $T=0.8$  S

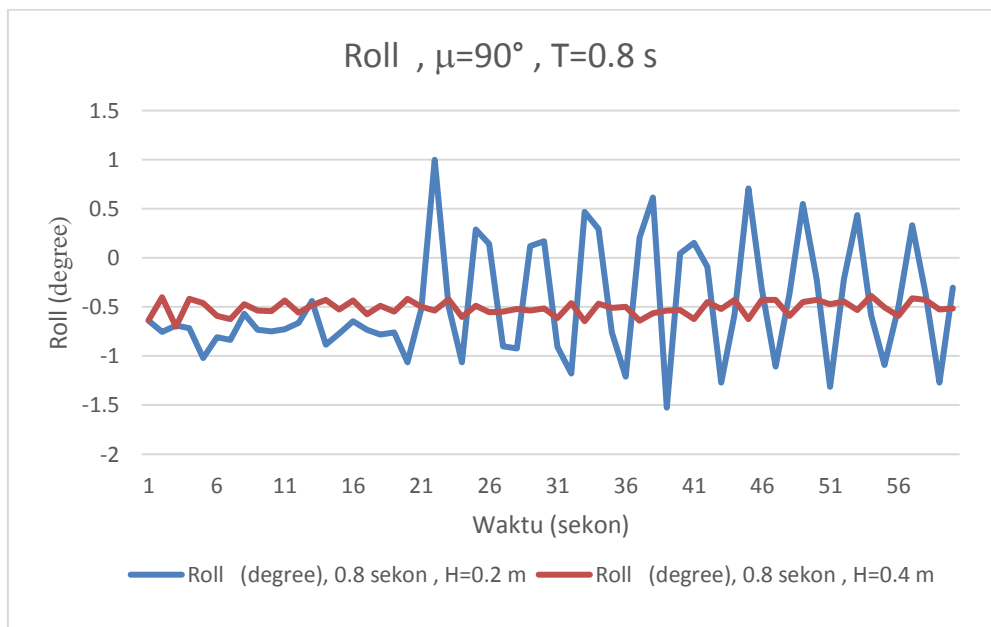
#### 4.6.7 Pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang $90^\circ$



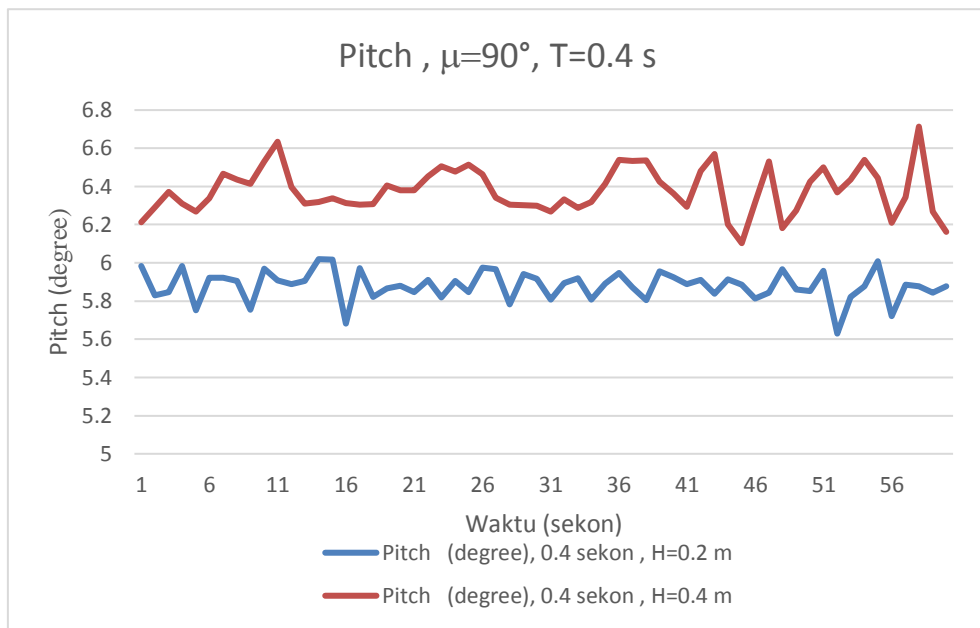
Gambar 72. Roll  $\mu = 90^\circ$  ,  $T=0.4$  S



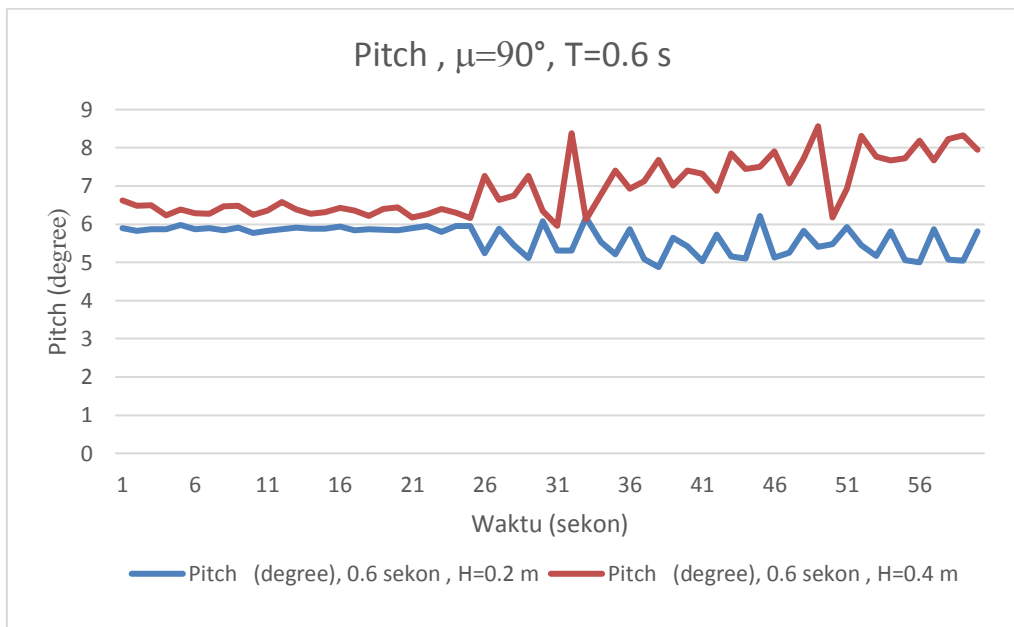
Gambar 73. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.6$  S



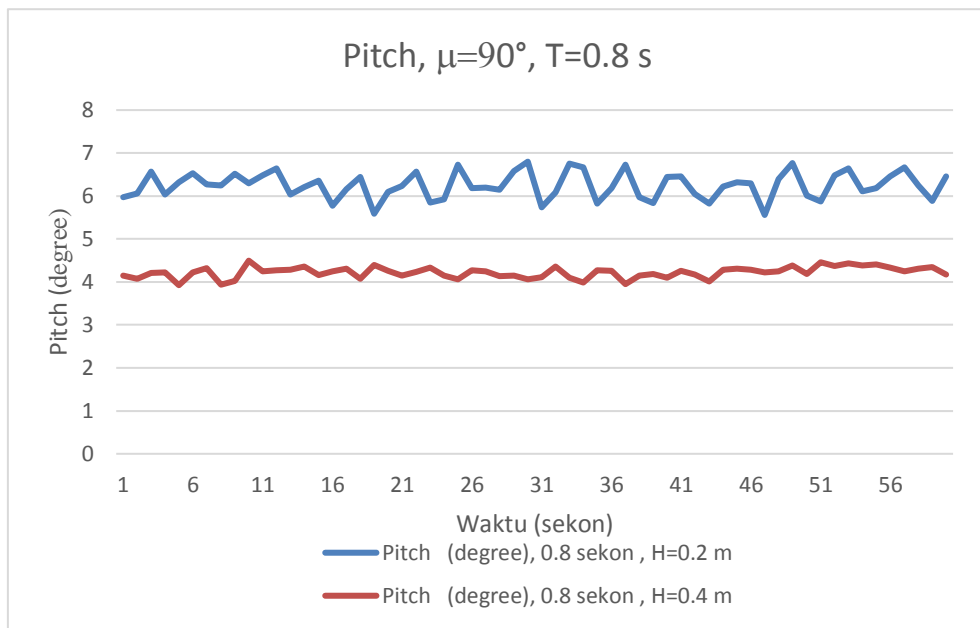
Gambar 74. Roll  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.8$  S



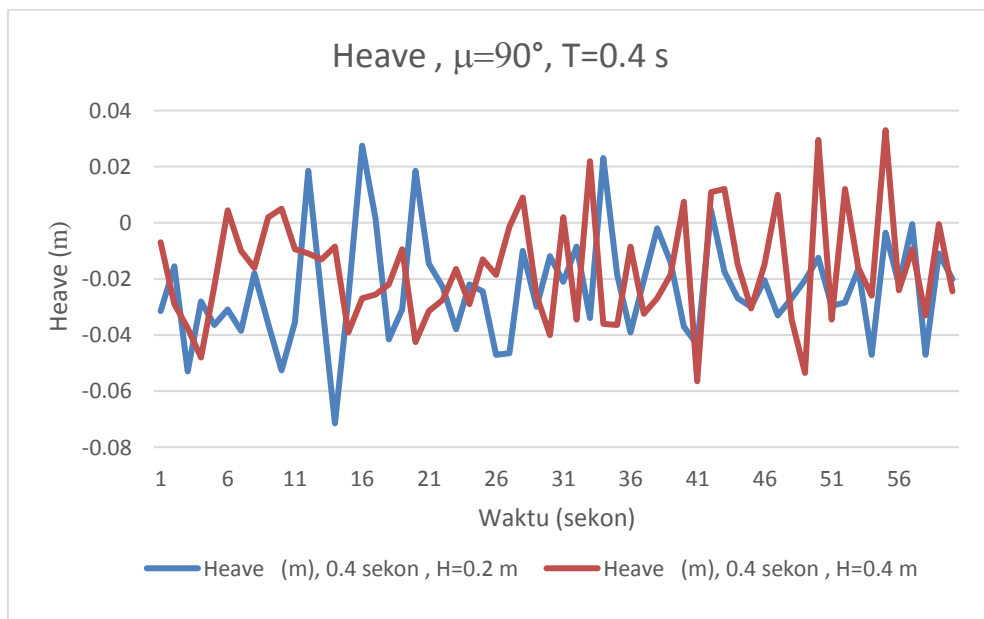
Gambar 75. Pitch  $\mu=90^\circ$ ,  $T=0.4$  S



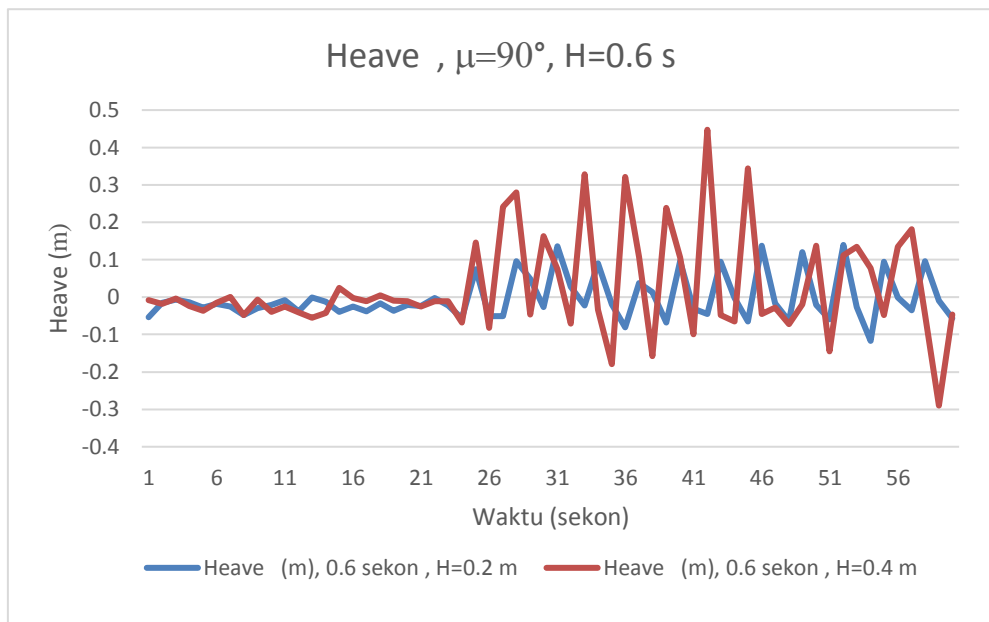
Gambar 76. Pitch  $\mu=90^\circ$ ,  $T=0.6$  S



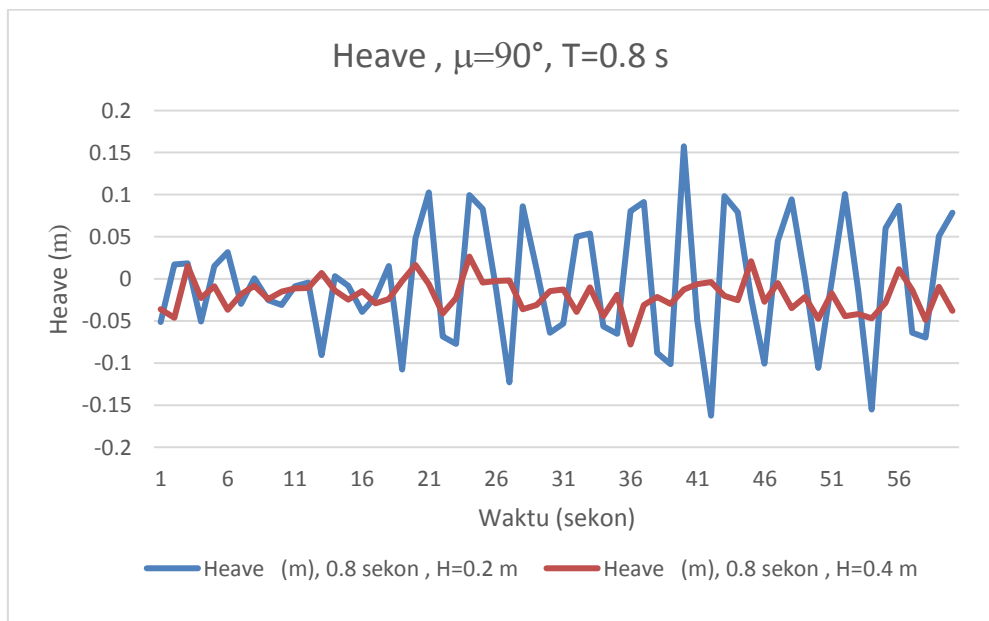
Gambar 77. Pitch  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.8$  S



Gambar 78. Heave  $\mu=90^\circ$  ,  $T=0.4$  S

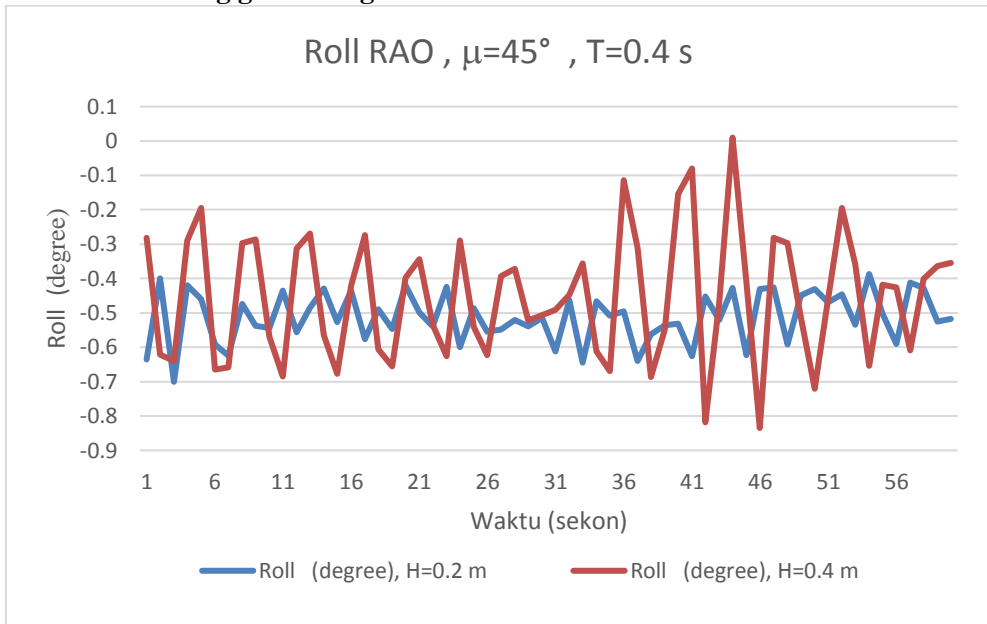


Gambar 79. Heave  $\mu =90^\circ$ ,  $T=0.6$  S

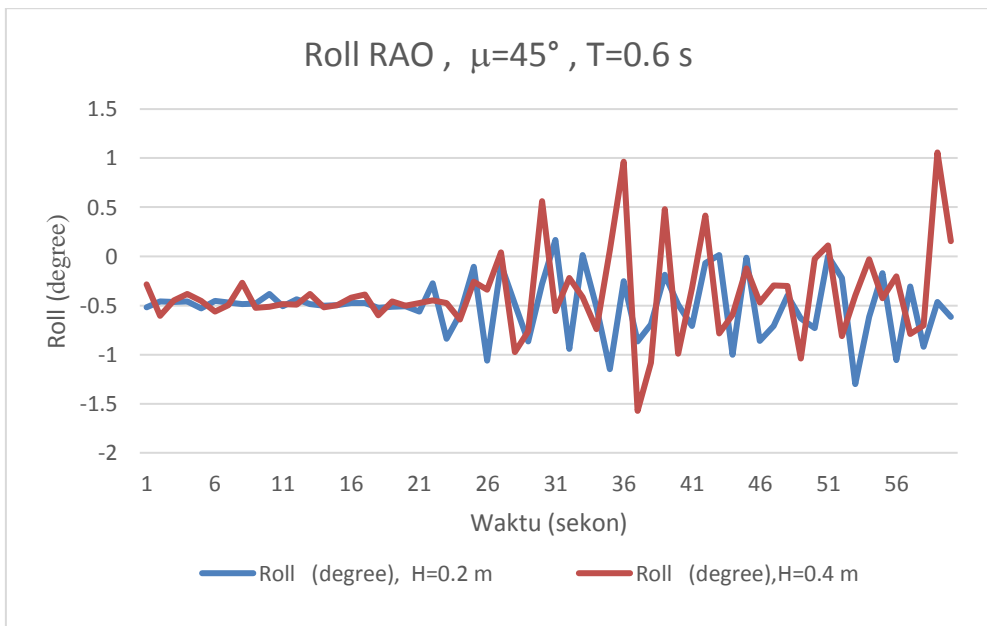


Gambar 80. Heave  $\mu =90^\circ$ ,  $T=0.8$  S

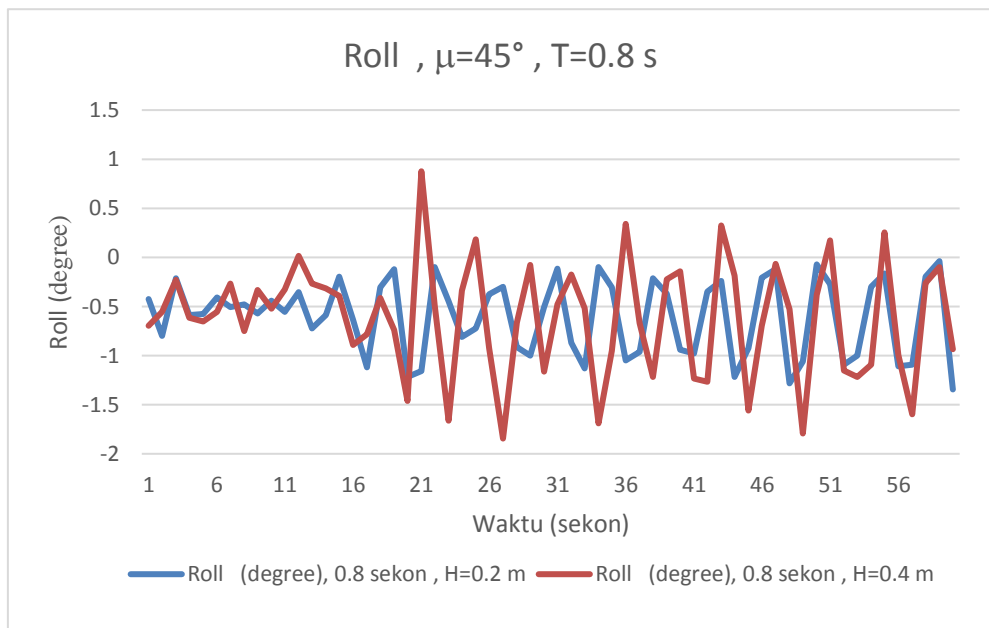
#### 4.6.8 Pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang 45°



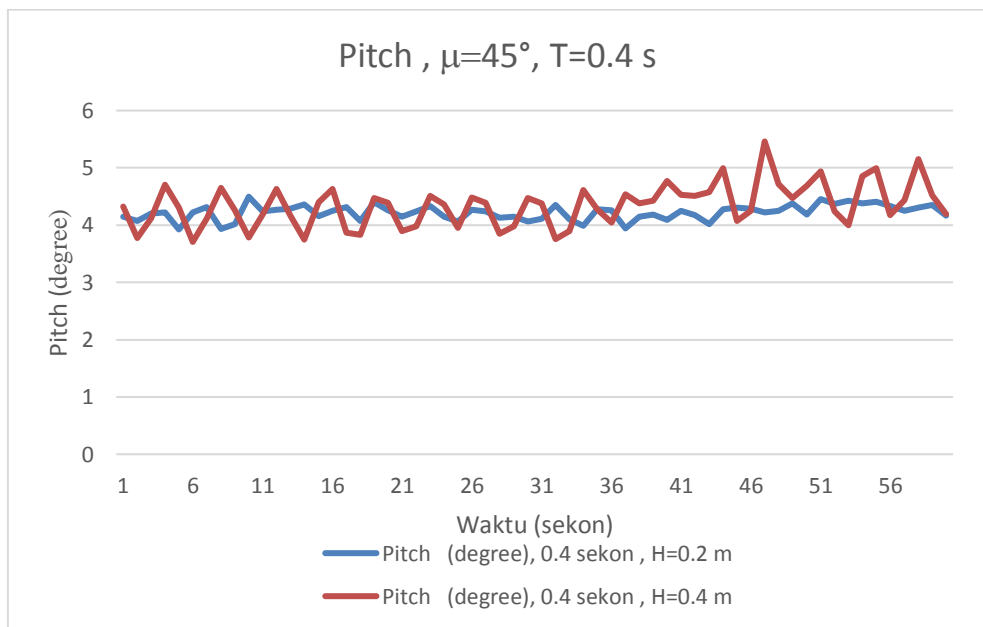
Gambar 81. Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.4$  S



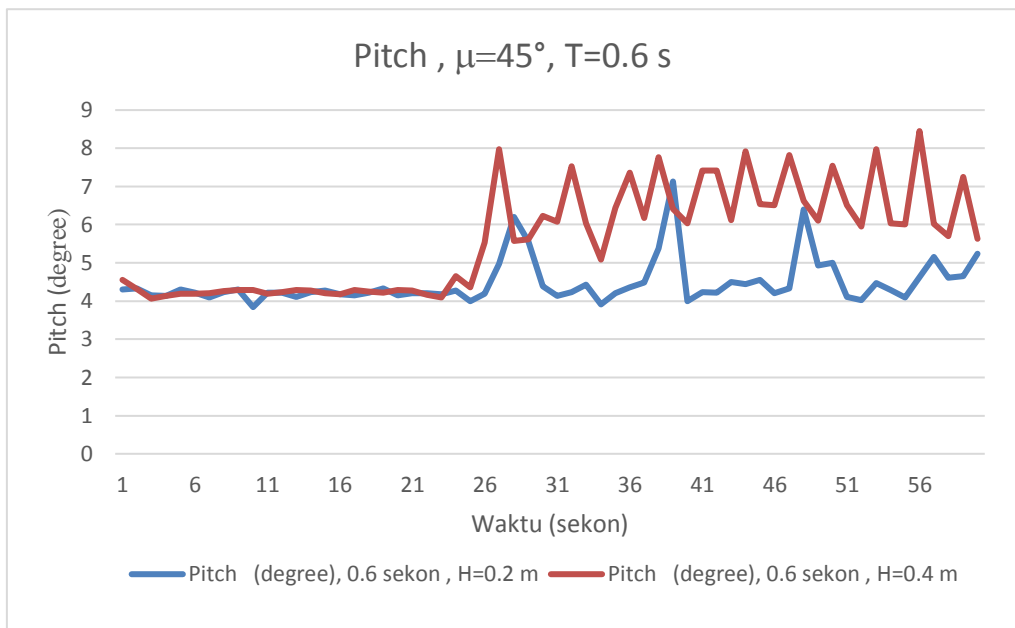
Gambar 82. Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.6$  S



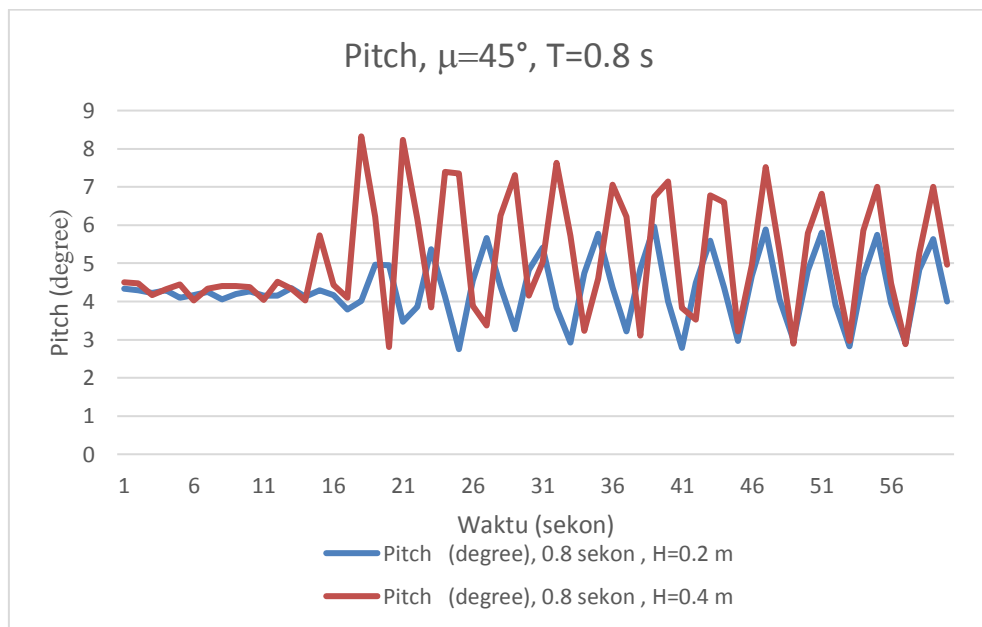
Gambar 83. Roll  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.8$  S



Gambar 84. Pitch  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.4$  S

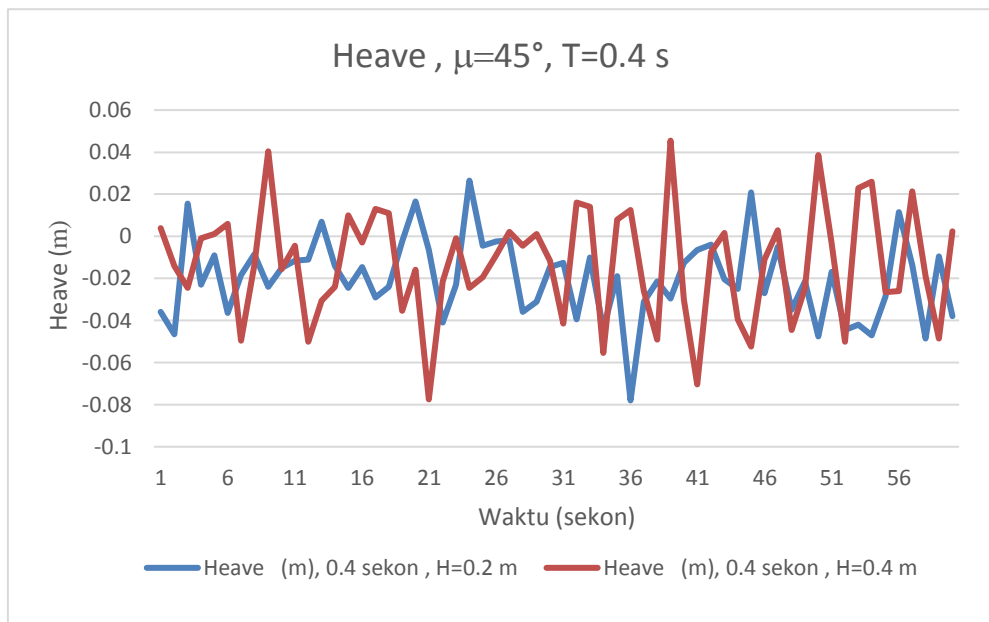


Gambar 85. Pitch  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.6$  S

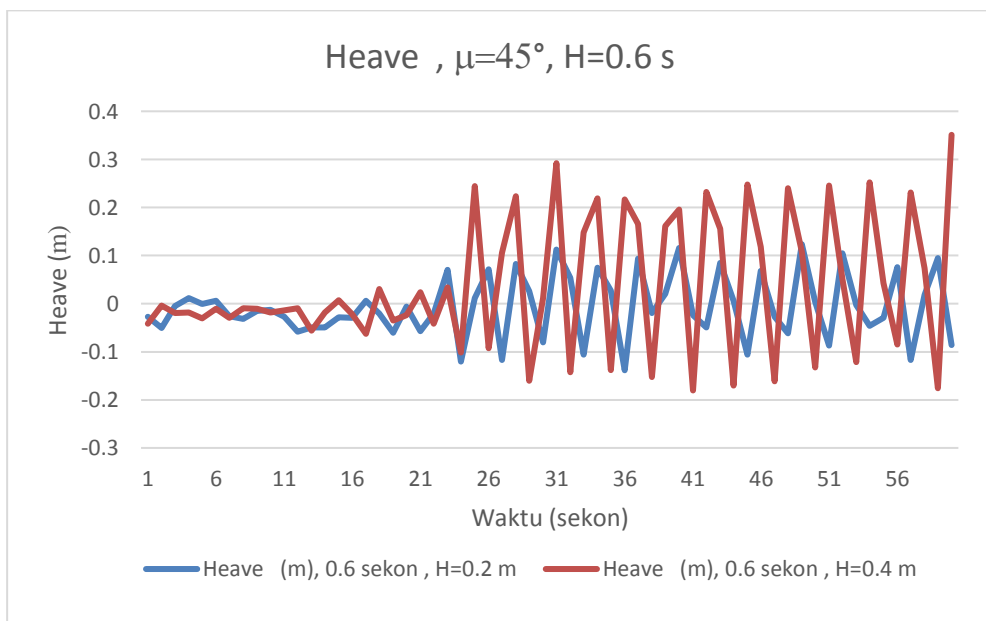


Gambar 86. Pitch  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.8$  S

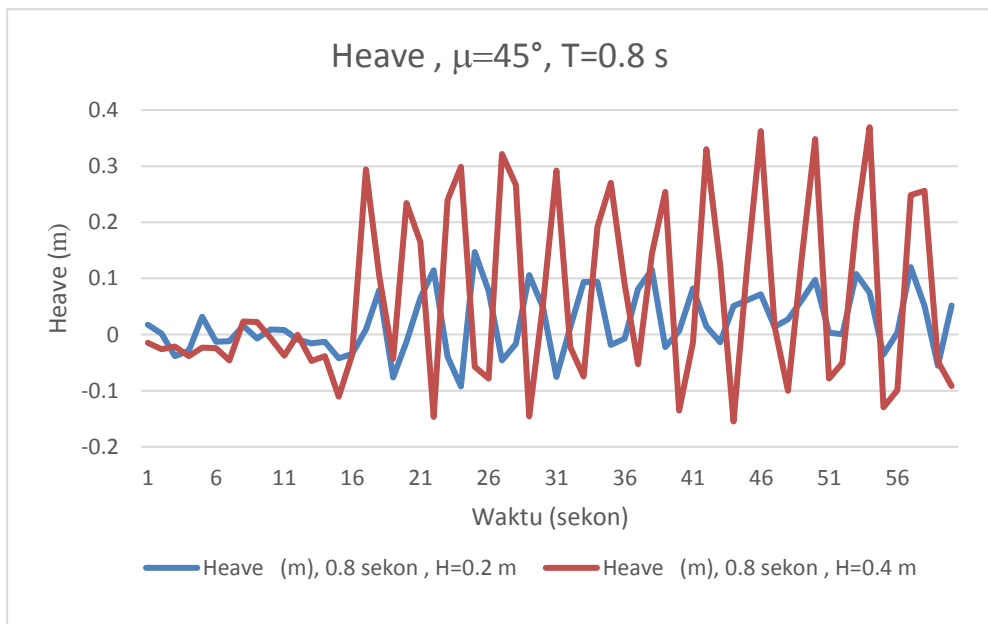




Gambar 87. Heave  $\mu =45^\circ$  ,  $T=0.4$  S



Gambar 88. Heave  $\mu =45^\circ$  ,  $T=0.6$  S



**Gambar 89. Heave  $\mu=45^\circ$  ,  $T=0.8$  S**

#### 4.7 Pembahasan Data

Grafik pengaruh variasi arah datang gelombang dan periode gelombang pada  $H=0.2$  subbab 4.6.1 menunjukkan fluktuatif secara kontinyu baik gerakan roll, pitch, maupun heave. Pada gerak roll dan pitch gerakan resonansi terbesar dialami pada  $\mu=45^\circ$  dan  $T=0.6$  sekon dimana nilai untuk roll adalah 0.2 s.d -1.3 sedangkan nilai pitch hingga 7 derajat. Untuk nilai heave terjadi pada  $\mu=45^\circ$  dan  $T=0.8$  s, pergeseran heave mencapai 0.15 m.

Grafik subbab 4.6.2 menunjukkan pengaruh variasi arah datang gelombang dan periode gelombang pada  $H=0.4$  m. Pada saat pengujian pada periode 0.6 sekon mengalami rata – rata nilai terbesar pada semua respon gerak baik heave pitch dan roll. Roll tertinggi terjadi pada  $\mu=90^\circ$  dan  $T=0.6$  s, nilai resonansi mencapai 6 derajat. Nilai gerak pitch terbesar terjadi pada  $\mu=45^\circ$  dan  $T=0.8$  s, nilai mencapai 8.5 derajat. Pergeseran nilai heave terjadi pada  $\mu=45^\circ$ , nilai sebesar 0.45m.

Pada grafik subbab 4.6.3 menunjukkan pengaruh variasi tinggi gelombang dan sudut arah datang gelombang pada periode=0.4 s. Pada saat pengujian gerakan roll pada  $\mu=45^\circ$  dan  $T=0.4$  s terjadi resonansi secara teratur, namun nilai tertinggi terjadi pada  $\mu=90^\circ$  dan  $T=0.4$  s dengan nilai 0.2 derajat. Nilai pitch terbesar pada saat pada  $\mu=90^\circ$  dan  $T=0.4$  s, nilai tertinggi 6.7 derajat Dimana terjadi pada  $H=0.4$  m. Nilai pergeseran heave terjadi pada  $\mu=0^\circ$  dan  $T=0.4$  s yaitu dari -0.06 m hingga 0.06 m, dimana tinggi gelombang terjadi pada 0.4 m.

Pada Grafik subbab 4.6.4 menunjukkan gerakan roll terbesar terjadi pada  $\mu=90^\circ$  dan  $T=0.6$  s dengan nilai 6 derajat pada tinggi gelombang 0.4 m. Pada gerakan pitch nilai terbesar sama terjadi pada  $\mu=90^\circ$  dan  $T=0.6$  s dengan nilai 8.2 derajat. Pergeseran heave terjadi pada nilai 0.45 derajat dialami pada kondisi pada tinggi gelombang 0.4 m dan  $\mu=90^\circ$ .

Pada grafik subbab 4.6.5 menunjukkan pengaruh variasi tinggi gelombang dan sudut arah datang gelombang pada Periode=0.8 s. Gerakan roll mempunyai nilai terbesar pada  $\mu=90^\circ$  dan  $H=0.4$  m. Nilai pitch terbesar pada  $\mu=90^\circ$  dan  $H=0.4$  m, sebesar 8.25 derajat. Pada gerakan pergeseran heave mengalami nilai sebesar 0.3 hingga -0.1, terjadi pada  $\mu=90^\circ$  dan  $H=0.4$  m.

Pada grafik subbab 4.6.6 menunjukkan pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang  $0^\circ$ . Nilai resonansi roll terbesar terjadi pada  $T=0.6$ s dan  $H=0.4$  m, rentang nilai antara 1.5 derajat hingga -1 derajat. Gerakan rotasi pitch terbesar terjadi sebesar 2.15 derajat hingga 4.5 derajat, terjadi pada  $H=0.4$  m dan  $T=0.6$  s. Pergeseran heave paling signifikan terjadi pada  $T=0.4$  s dan  $H=0.4$  m dari 0.06 m hingga -0.06 m.

Pada grafik subbab 4.6.7 menunjukkan pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang  $90^\circ$ . Nilai resonansi roll terbesar terjadi pada  $T=0.6$  s dan  $H=0.4$  m, yaitu sebesar 0 derajat hingga 6 derajat. Nilai rotasi pitch terbesar terjadi pada  $T=0.6$  s dan  $H=0.4$  m, sebesar 8 derajat. Pergeseran heave terbesar terjadi pada  $T=0.8$ s dan  $H=0.2$  m, nilai rentang 0.15 m hingga -0.15 m.

Pada grafik subbab 4.6.8 menunjukkan pengaruh variasi periode gelombang dan tinggi gelombang pada arah datang gelombang  $45^\circ$ . Nilai gerakan rotasi resonansi roll terbesar terjadi pada  $T=0.4$  s dan  $H=0.4$  m yaitu rentang 0 derajat dan -0.8 derajat. Gerakan rotasi pitch terbesar pada  $T=0.8$  dan  $H=0.4$  m rentang resonansi antara 8 derajat dan 3 derajat. Pergeseran heave terbesar terjadi pada  $T=0.8$  s dan 0.4 m, rentang antara 0.35 m dan 0.15 m.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Mengacu dari hasil analisis data dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan tentang studi eksperimental ini sebagai berikut.

- Nilai Gerakan Roll terbesar adalah 6 derajat. Terjadi pada sudut arah datang gelombang 90° dengan periode 0.6 sekon dan tinggi gelombang 0.4 m
- Nilai Gerakan Pitch terbesar adalah 8 derajat. Terjadi pada sudut arah datang gelombang 90° dengan periode 0.6 sekon dan tinggi gelombang 0.4 m
- Nilai Gerakan pergeseran Heave terbesar dengan nilai rentang rentang 0.15 m hingga -0.15 m pada sudut arah datang gelombang 90°. Pada saat periode 0.8 sekon dan tinggi gelombang 0.2 m.

#### **5.2 Saran**

Beberapa hal yang dapat disarankan dari hasil penelitian tugas akhir ini untuk kelanjutan pengembangannya antara lain:

- Perlunya penelitian lanjut dengan gelombang irregular
- Analisa *tension* (tegangan) kabel mooring perlu dilakukan untuk menjaga *sustainability* ponton saat pengoperasian
- Pada penelitian kali ini kalibrasi hanya dilakukan untuk sensor, penelitian berikutnya perlu dilakukan kalibrasi tinggi gelombang saat pengujian

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rachmattrra, T dan Revian A. 2017. “Implementasi Ocean Wave Energy Farm Menggunakan Sistem Bandul Pada Pelabuhan Telaga Biru. Makalah pada Young Leader of Energy Camp di Yogyakarta, 21 September 2017.
- [2] BP Statistical Review of World Energy. 2017 edition. (<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>). [Diakses 22.01.18]
- [3] Mukhlis. 2013. Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 s.d 2020. BPPT
- [4] Kementerian ESDM. 2016. Statistik Ketenagalistrikan 2015 Tahun Anggaran 2016. No. 29
- [5] Peraturan Pemerintah Nomer 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional
- [6] Mukhtasor. 2012. *Ocean Energy in Indonesia*. Presentasi *Ocean Energy Workshop* oleh Kementerian ESDM
- [7] Isnaini, R. 2016. Analisis Karakteristik Osilasi Pendulum pada PLTGL-SB. Surabaya. Skripsi/Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Berghdahl, Lars. 2017. *Mooring Design for WECs*. Göteborg:Springer
- [9] Syarief A, Irfan. *et al.* 2017. “*Analysis Characteristics of Pendulum Oscillation In PLTGL-SB*”. Makalah pada Seminar *ASTECHNOVA International Conference of Energy* di Jogjakarta, 1 November 2017.

## LAMPIRAN

Lampiran A-Variasi 1 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.4\text{ s}$  ,  $\mu=0^\circ$ )  
Lampiran B-Variasi 2 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.6\text{ s}$  ,  $\mu=0^\circ$ )  
Lampiran C-Variasi 3 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.8\text{ s}$  ,  $\mu=0^\circ$ )  
Lampiran D-Variasi 4 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.4\text{ s}$  ,  $\mu=0^\circ$ )  
Lampiran E-Variasi 5 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.6\text{ s}$  ,  $\mu=0^\circ$ )  
Lampiran F-Variasi 6 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.8\text{ s}$  ,  $\mu=0^\circ$ )  
Lampiran G-Variasi 7 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.4\text{ s}$  ,  $\mu=90^\circ$ )  
Lampiran H-Variasi 8 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.6\text{ s}$  ,  $\mu=90^\circ$ )  
Lampiran I-Variasi 9 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.8\text{ s}$  ,  $\mu=90^\circ$ )  
Lampiran J-Variasi 10 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.4\text{ s}$  ,  $\mu=90^\circ$ )  
Lampiran K-Variasi 11 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.6\text{ s}$  ,  $\mu=90^\circ$ )  
Lampiran L-Variasi 12 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.8\text{ s}$  ,  $\mu=90^\circ$ )  
Lampiran M-Variasi 13 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.4\text{ s}$  ,  $\mu=45^\circ$ )  
Lampiran N-Variasi 14 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.6\text{ s}$  ,  $\mu=45^\circ$ )  
Lampiran O-Variasi 15 ( $H=0.2\text{ m}$  ,  $T=0.8\text{ s}$  ,  $\mu=45^\circ$ )  
Lampiran P-Variasi 16 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.4\text{ s}$  ,  $\mu=45^\circ$ )  
Lampiran Q-Variasi 17 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.6\text{ s}$  ,  $\mu=45^\circ$ )  
Lampiran R-Variasi 18 ( $H=0.4\text{ m}$  ,  $T=0.8\text{ s}$  ,  $\mu=45^\circ$ )

Lampiran A-**Variasi 1** (H=0.2 m , T=0.4 s ,  $\mu=0^\circ$ )

<b>Waktu (s)</b>	<b>Roll (deg)</b>	<b>Pitch(deg)</b>	<b>Heave (m)</b>
1	-1.217	4.124	-0.0675
2	-1.373	4.11	-0.027
3	-1.388	4.155	-0.051
4	-1.3515	4.1555	-0.0425
5	-1.419	4.089	-0.0405
6	-1.466	4.039	-0.047
7	-1.424	4.016	-0.0165
8	-1.4045	3.9845	-0.031
9	-1.4545	3.9925	-0.051
10	-1.4415	3.9995	-0.0215
11	-1.405	4.0315	0.0095
12	-1.3955	4.066	-0.039
13	-1.3975	4.1085	-0.038
14	-1.3315	4.1105	-0.0475
15	-1.2465	4.117	-0.0465
16	-1.064	4.1675	-0.0585
17	-1.283	4.0125	-0.028
18	-1.3675	3.991	-0.016
19	-1.3025	3.984	-0.011
20	-1.258	3.9495	-0.0355
21	-1.079	3.901	-0.0055
22	-1.3585	4.008	-0.0365
23	-1.3695	4.03	-0.028
24	-1.393	4.0565	-0.0525
25	-1.343	4.107	-0.0365
26	-1.282	4.1625	-0.02
27	-0.936	4.312	-0.0315
28	-1.083	4.19	-0.041
29	-1.307	4.0415	-0.038
30	-1.3045	4.034	-0.0075
31	-1.395	3.9825	-0.0335
32	-1.3525	3.9355	-0.0305
33	-1.3415	3.9005	-0.007
34	-1.3885	3.9225	-0.0195
35	-1.353	3.903	-0.025



36	-1.2665	3.948	-0.0265
37	-1.2725	3.953	-0.0345
38	-1.246	4	-0.0635
39	-1.178	4.0485	-0.025
40	-1.0995	4.112	-0.046
41	-1.147	4.099	-0.042
42	-1.0735	4.143	-0.043
43	-0.786	4.172	-0.0165
44	-0.9445	4.0285	-0.0235
45	-1.133	4.0315	-0.016
46	-1.117	3.9765	-0.0265
47	-1.1365	3.9915	-0.0365
48	-1.1645	3.944	-0.021
49	-1.173	4.005	-0.0195
50	-1.2155	3.974	-0.037
51	-1.231	4.0415	-0.0265
52	-1.174	4.0315	-0.01
53	-1.181	4.1075	-0.077
54	-1.2235	4.095	-0.0325
55	-1.206	4.1275	-0.0455
56	-1.139	4.0785	-0.0205
57	-1.177	4.07	-0.015
58	-1.1795	4.013	-0.0435
59	-1.1795	3.9845	-0.0195
60	-1.172	3.9745	-0.04

Lampiran B- **Variasi 2** (H=0.2 m , T=0.6 s ,  $\mu=0^\circ$ )

<b>Waktu (sekon)</b>	<b>Roll (deg)</b>	<b>Pitch(deg)</b>	<b>Heave Displacement (m)</b>
1	-1.1565	4.0545	0.016
2	-1.161	4.1035	-0.02
3	-1.177	4.0805	-0.022
4	-1.046	4.1455	-0.001
5	-0.861	4.175	0.0025
6	-1.1755	4.0085	-0.033
7	-1.2405	3.971	-0.021
8	-1.2285	4.0135	-0.036
9	-1.1965	4.0085	-0.0025
10	-1.2575	3.9495	-0.017
11	-1.2775	3.9295	-0.032
12	-1.2555	3.929	-0.027
13	-1.264	3.9315	0.011
14	-1.2805	3.9485	-0.032
15	-1.2545	3.973	-0.053
16	-1.265	4.0045	-0.021
17	-1.2215	4.047	-0.002
18	-1.2655	4.1105	-0.04
19	-1.316	4.1105	-0.0165
20	-1.3295	4.179	-0.01
21	-1.3705	4.0515	-0.0315
22	-1.2555	4.3255	-0.01
23	-1.284	3.969	-0.06
24	-1.4735	3.97	0.0275
25	-1.395	4.322	0.0095
26	-1.288	3.331	-0.096
27	-0.9935	3.6905	0.0015
28	-1.164	4.281	0.098
29	-1.44	3.841	-0.03
30	-1.7335	3.62	-0.1035
31	-1.5695	4.5385	0.078
32	-1.5825	4.262	-0.0225
33	-1.662	3.3475	-0.093
34	-1.5635	4.3155	0.05
35	-1.5975	4.1365	-0.02

36	-1.7195	3.2555	-0.0575
37	-1.469	4.487	0.063
38	-1.613	3.9525	-0.043
39	-1.291	3.417	-0.061
40	-0.9925	4.299	0.079
41	-1.3955	3.8205	-0.0625
42	-1.427	3.7545	-0.0775
43	-1.497	4.6165	0.097
44	-1.5005	4.2035	-0.0045
45	-1.3975	3.67	-0.128
46	-1.4585	4.6095	0.069
47	-1.6235	4.0985	-0.0065
48	-1.499	3.4695	-0.057
49	-1.4695	4.5785	0.113
50	-1.3845	3.9	-0.004
51	-1.2935	3.812	-0.0305
52	-1.2135	3.451	-0.1055
53	-1.7855	4.385	0.0705
54	-1.5445	4.203	-0.0105
55	-1.574	3.5605	-0.1
56	-1.5855	4.1885	-0.0045
57	-1.572	4.466	0.022
58	-1.644	3.4015	-0.0965
59	-1.5985	4.1975	0.0115
60	-1.3295	4.158	0.025

Lampiran C- **Variasi 3** (H=0.2 m , T=0.8 s ,  $\mu=0^\circ$ )

<b>Waktu (sekon)</b>	<b>Roll (deg)</b>	<b>Pitch(deg)</b>	<b>Heave Displacement (m)</b>
1	-1.1565	4.0545	0.016
2	-1.161	4.1035	-0.02
3	-1.177	4.0805	-0.022
4	-1.046	4.1455	-0.001
5	-0.861	4.175	0.0025
6	-1.1755	4.0085	-0.033
7	-1.2405	3.971	-0.021
8	-1.2285	4.0135	-0.036
9	-1.1965	4.0085	-0.0025
10	-1.2575	3.9495	-0.017
11	-1.2775	3.9295	-0.032
12	-1.2555	3.929	-0.027
13	-1.264	3.9315	0.011
14	-1.2805	3.9485	-0.032
15	-1.2545	3.973	-0.053
16	-1.265	4.0045	-0.021
17	-1.2215	4.047	-0.002
18	-1.2655	4.1105	-0.04
19	-1.316	4.1105	-0.0165
20	-1.3295	4.179	-0.01
21	-1.3705	4.0515	-0.0315
22	-1.2555	4.3255	-0.01
23	-1.284	3.969	-0.06
24	-1.4735	3.97	0.0275
25	-1.395	4.322	0.0095
26	-1.288	3.331	-0.096
27	-0.9935	3.6905	0.0015
28	-1.164	4.281	0.098
29	-1.44	3.841	-0.03
30	-1.7335	3.62	-0.1035
31	-1.5695	4.5385	0.078
32	-1.5825	4.262	-0.0225
33	-1.662	3.3475	-0.093
34	-1.5635	4.3155	0.05
35	-1.5975	4.1365	-0.02

36	-1.7195	3.2555	-0.0575
37	-1.469	4.487	0.063
38	-1.613	3.9525	-0.043
39	-1.291	3.417	-0.061
40	-0.9925	4.299	0.079
41	-1.3955	3.8205	-0.0625
42	-1.427	3.7545	-0.0775
43	-1.497	4.6165	0.097
44	-1.5005	4.2035	-0.0045
45	-1.3975	3.67	-0.128
46	-1.4585	4.6095	0.069
47	-1.6235	4.0985	-0.0065
48	-1.499	3.4695	-0.057
49	-1.4695	4.5785	0.113
50	-1.3845	3.9	-0.004
51	-1.2935	3.812	-0.0305
52	-1.2135	3.451	-0.1055
53	-1.7855	4.385	0.0705
54	-1.5445	4.203	-0.0105
55	-1.574	3.5605	-0.1
56	-1.5855	4.1885	-0.0045
57	-1.572	4.466	0.022
58	-1.644	3.4015	-0.0965
59	-1.5985	4.1975	0.0115
60	-1.3295	4.158	0.025

Lampiran D-Variasi 4 (H=0.4 m , T=0.4 s ,  $\mu=0^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-1.544	4.331	0.012
2	-1.406	4.388	-0.0225
3	-1.469	4.326	-0.008
4	-1.57	4.2555	-0.0205
5	-1.5385	4.2755	-0.0015
6	-1.4915	4.3255	-0.0315
7	-1.4765	4.4245	-0.0355
8	-1.4855	4.461	-0.042
9	-1.4075	4.424	-0.0135
10	-1.456	4.4255	-0.0155
11	-1.528	4.458	-0.0015
12	-1.549	4.486	-0.0055
13	-1.52	4.445	-0.015
14	-1.429	4.419	-0.032
15	-1.3655	4.4155	-0.0055
16	-1.461	4.3195	-0.031
17	-1.4425	4.2975	-0.0165
18	-1.4685	4.282	-0.002
19	-1.5055	4.296	0.006
20	-1.462	4.313	-0.033
21	-1.4585	4.3025	-0.0165
22	-1.402	4.307	-0.0545
23	-1.378	4.383	-0.021
24	-1.4105	4.45	-0.032
25	-1.3935	4.455	-0.005
26	-1.434	4.4685	-0.0095
27	-1.3955	4.459	-0.047
28	-1.4065	4.4645	-0.0315
29	-1.3235	4.4905	-0.034
30	-1.3655	4.41	-0.0125
31	-1.491	4.422	-0.0455
32	-1.4325	4.4335	-0.006
33	-1.433	4.356	-0.041
34	-1.404	4.4005	-0.022
35	-1.276	4.0005	-0.0295

36	-1.072	4.1595	0.005
37	-1.4485	3.85	-0.0015
38	-1.4755	4.0635	-0.0485
39	-1.427	3.963	-0.037
40	-1.3575	3.772	-0.0115
41	-1.2785	3.321	-0.062
42	-1.3935	4.189	-0.0375
43	-1.322	4.0215	0.025
44	-1.5905	3.3455	-0.0145
45	-1.2015	3.544	-0.0325
46	-1.162	3.9385	0.0055
47	-1.215	3.811	0.0445
48	-1.5255	3.672	-0.066
49	-1.3775	3.9425	-0.039
50	-1.316	4.3225	0.012
51	-1.4175	3.712	0.0605
52	-1.3095	3.631	-0.015
53	-1.1675	3.9125	-0.056
54	-1.1495	4.136	-0.054
55	-1.3705	4.2515	-0.0395
56	-1.5265	3.796	-0.031
57	-1.413	4.102	-0.0555
58	-1.202	3.927	-0.002
59	-1.008	3.481	-0.0105
60	-1.28	3.788	-0.006

Lampiran E-Variasi 5 (H=0.4 m , T=0.6 s ,  $\mu=0^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-1.2915	4.257	-0.039
2	-1.4665	4.2335	-0.039
3	-1.3425	4.179	-0.019
4	-1.121	4.181	-0.0265
5	-1.145	4.144	-0.037
6	-1.174	4.147	-0.046
7	-0.9845	4.0925	-0.0185
8	-0.968	4.118	-0.037
9	-1.162	4.1545	-0.0365
10	-1.3115	4.1165	-0.0695
11	-1.2805	4.076	-0.022
12	-1.1135	4.1535	0.0175
13	-1.3215	4.194	-0.023
14	-1.526	4.206	-0.0275
15	-1.258	4.12	-0.042
16	-1.124	4.112	0.0055
17	-1.3415	4.09	-0.04
18	-1.437	4.2835	-0.028
19	-1.1395	4.136	-0.04
20	-1.3495	4.2035	-0.0465
21	-1.3625	4.227	-0.007
22	-1.278	4.136	-0.0385
23	-1.078	4.4685	0.002
24	-0.9675	2.7785	-0.0765
25	-0.6585	4.3655	0.165
26	-0.386	2.8805	-0.0035
27	-1.1985	3.7175	0.07
28	-1.221	3.589	0.1115
29	-1.1715	4.0755	0.124
30	-1.5385	3.3135	-0.0765
31	-1.476	4.7085	0.2235
32	-1.333	3.0515	-0.0915
33	-2.0735	3.166	0.0435
34	-0.6675	4.234	0.2455
35	-0.081	4.1385	0.0535



36	-1.176	3.592	0.0925
37	-1.109	3.2605	0.372
38	-0.46475	2.7045	0.1225
39	-1.065	3.561	0.021
40	0.01	2.42	-0.0245
41	-0.0145	3.354	0.0785
42	-0.2455	2.26975	-0.1185
43	-0.862	3.6585	0.173
44	-0.4415	3.485	0.067
45	1.425	4.219	0.0215
46	-1.033	4.0365	0.1185
47	-0.328	2.9895	0.0135
48	0.115	2.919	0.061
49	0.7255	4.221	0.216
50	0.0465	3.286	0.129
51	-0.1815	2.9905	0.007
52	-0.5775	2.2755	0.2065
53	-0.6905	3.415	0.286
54	-0.411	3.197	-0.099
55	-1.05	3.607	0.262
56	-0.8745	3.2795	0.026
57	-0.522	4.155	0.139
58	-0.5205	3.2395	0.196
59	-0.248	2.138	0.14
60	-0.111	3.525	0.067

Lampiran F-Variasi 6 (H=0.4 m , T=0.8 s ,  $\mu=0^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-1.532	4.6955	-0.019
2	-1.3005	4.7775	0.0135
3	-1.291	4.1335	-0.023
4	-1.355	4.738	-0.048
5	-1.496	4.7845	-0.0135
6	-1.252	4.3545	-0.012
7	-1.289	4.778	-0.048
8	-1.2145	5.011	-0.053
9	-1.151	4.684	-0.015
10	-1.1865	4.596	-0.0305
11	-1.1495	5.0985	-0.0135
12	-1.3455	4.822	-0.0385
13	-1.2775	4.8815	-0.048
14	-1.3325	4.93	-0.0255
15	-1.332	4.933	0.0125
16	-1.2765	4.87	-0.0335
17	-1.307	4.788	-0.053
18	-1.424	4.8975	-0.0255
19	-1.468	5.0275	0.0175
20	-1.452	4.608	0.0145
21	-1.0135	2.9945	-0.0905
22	-1.1985	4.74	-0.098
23	-1.3915	5.517	0.1535
24	-0.911	3.2395	0.034
25	-1.1745	3.0955	-0.234
26	-1.228	5.038	-0.065
27	-1.373	5.4585	0.149
28	-1.673	3.4855	0.0755
29	-0.9475	2.802	-0.218
30	-0.992	4.881	-0.0645
31	-1.0785	5.14	0.0925
32	-1.081	3.9495	0.114
33	-1.4955	2.966	-0.1575
34	-0.936	4.754	-0.136
35	-0.9525	5.792	0.2235

36	-0.982	3.7845	0.2145
37	-1.1345	2.869	-0.183
38	-1.0525	5.037	-0.124
39	-1.258	3.2055	0.279
40	-0.821	3.4495	0.0395
41	-1.124	3.301	-0.194
42	-1.4365	5.5825	0.006
43	-1.496	4.952	0.134
44	-0.797	3.089	-0.0455
45	-1.048	3.519	-0.1855
46	-1.571	5.524	0.041
47	-1.91	5.0595	0.175
48	-0.977	2.731	-0.1025
49	-0.7325	3.6765	-0.133
50	-1.5415	5.4905	0.003
51	-1.9885	4.789	0.218
52	-1.136	2.9035	-0.0225
53	-0.634	3.58	-0.205
54	-1.59	5.4465	0.0635
55	-1.835	4.99	0.2225
56	-1.1385	3.0235	-0.0395
57	-0.7845	3.4185	-0.1675
58	-1.4255	5.489	0.1105
59	-1.612	4.9435	0.203
60	-0.9935	2.9795	-0.0895

Lampiran G-**Variasi 7** (H=0.2 m , T=0.4 s ,  $\mu=90^\circ$ )

<b>Waktu (sekon)</b>	<b>Roll (deg)</b>	<b>Pitch(deg)</b>	<b>Heave Displacement (m)</b>
1	-0.641	5.9845	-0.0315
2	-0.5095	5.829	-0.0155
3	-0.5595	5.847	-0.053
4	-0.7135	5.9835	-0.028
5	-0.599	5.753	-0.0365
6	-0.7595	5.921	-0.031
7	-1.038	5.923	-0.0385
8	-0.8635	5.906	-0.018
9	-0.635	5.7545	-0.036
10	-0.693	5.9705	-0.0525
11	-0.72	5.909	-0.0355
12	-0.693	5.8885	0.0185
13	-0.6105	5.9055	-0.027
14	-0.643	6.0195	-0.0715
15	-0.5015	6.017	-0.027
16	-0.392	5.6815	0.0275
17	-0.733	5.973	0.0015
18	-0.6705	5.822	-0.0415
19	-0.645	5.8665	-0.031
20	-1.068	5.8795	0.0185
21	-0.8175	5.848	-0.0145
22	-0.768	5.9115	-0.023
23	-0.7545	5.819	-0.038
24	-0.669	5.906	-0.022
25	-0.651	5.847	-0.0245
26	-0.723	5.976	-0.047
27	-0.5925	5.9665	-0.0465
28	-0.435	5.783	-0.01
29	-0.5765	5.9405	-0.03
30	-0.565	5.917	-0.012
31	-0.652	5.8085	-0.021
32	-0.7615	5.8955	-0.0085
33	-1.015	5.9185	-0.034
34	-0.794	5.8065	0.023
35	-0.6575	5.8905	-0.0185

36	-0.726	5.947	-0.039
37	-0.626	5.8715	-0.0205
38	-0.748	5.8045	-0.002
39	-0.7715	5.9565	-0.014
40	-0.5715	5.9235	-0.037
41	-0.521	5.888	-0.0435
42	-0.458	5.91	0.0045
43	-0.4785	5.838	-0.0175
44	-0.5865	5.914	-0.027
45	-0.7425	5.8865	-0.03
46	-0.8505	5.813	-0.0205
47	-0.9515	5.845	-0.033
48	-0.711	5.9655	-0.027
49	-0.6615	5.86	-0.0205
50	-0.6405	5.853	-0.0125
51	-0.6125	5.9595	-0.0295
52	-0.599	5.6295	-0.0285
53	-0.5845	5.8225	-0.0165
54	-0.456	5.8765	-0.047
55	-0.4835	6.0085	-0.0035
56	-0.5445	5.7205	-0.022
57	-0.707	5.8845	-0.0005
58	-0.6315	5.878	-0.047
59	-0.7005	5.8435	-0.011
60	-0.834	5.8765	-0.02

Lampiran H-Variasi 8 (H=0.2 m , T=0.6 s ,  $\mu=90^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.671	5.891	-0.0535
2	-0.7435	5.8295	-0.0145
3	-0.689	5.862	-0.0065
4	-0.3985	5.869	-0.014
5	-0.5375	5.977	-0.028
6	-0.2775	5.8665	-0.0185
7	-0.2925	5.9005	-0.0245
8	-0.5455	5.842	-0.048
9	-0.6585	5.906	-0.029
10	-0.68	5.7635	-0.0215
11	-0.656	5.8265	-0.0085
12	-0.7555	5.874	-0.0385
13	-0.822	5.9145	-0.0015
14	-0.8535	5.8815	-0.0125
15	-0.719	5.88	-0.039
16	-0.735	5.9405	-0.0255
17	-0.7055	5.838	-0.0375
18	-0.6655	5.867	-0.0165
19	-0.7325	5.8585	-0.036
20	-0.781	5.847	-0.021
21	-0.654	5.8965	-0.0235
22	-0.516	5.9515	-0.003
23	-0.459	5.8005	-0.023
24	-0.3675	5.9525	-0.057
25	-0.8745	5.953	0.074
26	-0.537	5.234	-0.0505
27	0.381	5.877	-0.0505
28	0.1045	5.45	0.0955
29	-0.2825	5.1075	0.0495
30	0.773	6.077	-0.027
31	-0.1455	5.315	0.136
32	0.358	5.3055	0.028
33	1.0345	6.178	-0.022
34	-0.3525	5.528	0.091
35	0.779	5.212	-0.02

36	0.1685	5.864	-0.0805
37	-0.3395	5.0805	0.038
38	0.485	4.8765	0.013
39	1.3715	5.6495	-0.0685
40	-0.6405	5.419	0.0965
41	-0.185	5.0305	-0.0305
42	0.4985	5.728	-0.045
43	0.16	5.16	0.095
44	0.568	5.095	-0.0025
45	0.2965	6.214	-0.0645
46	-0.447	5.1305	0.138
47	0.475	5.251	-0.017
48	1.024	5.8205	-0.0635
49	-0.048	5.408	0.12
50	0.211	5.4805	-0.021
51	0.847	5.927	-0.0595
52	-0.11	5.45	0.1395
53	0.4475	5.173	-0.026
54	-0.2545	5.8165	-0.117
55	-0.367	5.0555	0.0945
56	0.354	5.0035	-0.0015
57	0.7225	5.866	-0.035
58	-0.5505	5.066	0.0955
59	0.033	5.0405	-0.0095
60	0.399	5.8145	-0.0565

Lampiran I-Variasi 9 (H=0.2 m , T=0.8 s ,  $\mu=90^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.6385	5.9705	-0.051
2	-0.7565	6.0585	0.017
3	-0.6885	6.57	0.0185
4	-0.7155	6.039	-0.0505
5	-1.019	6.325	0.015
6	-0.806	6.526	0.032
7	-0.8365	6.2765	-0.03
8	-0.5695	6.2475	0.0005
9	-0.734	6.52	-0.025
10	-0.746	6.2975	-0.031
11	-0.727	6.476	-0.009
12	-0.6595	6.6385	-0.0045
13	-0.441	6.029	-0.0905
14	-0.8835	6.2095	0.0035
15	-0.77	6.361	-0.008
16	-0.645	5.7735	-0.039
17	-0.732	6.157	-0.0215
18	-0.779	6.449	0.0155
19	-0.761	5.591	-0.1075
20	-1.066	6.095	0.0485
21	-0.5155	6.238	0.103
22	0.9985	6.5685	-0.0685
23	-0.4925	5.8425	-0.077
24	-1.065	5.9175	0.0995
25	0.288	6.734	0.083
26	0.1425	6.1825	-0.012
27	-0.903	6.1975	-0.123
28	-0.9225	6.141	0.086
29	0.1215	6.584	0.0115
30	0.169	6.8	-0.064
31	-0.908	5.7365	-0.0535
32	-1.1795	6.0845	0.05
33	0.4685	6.751	0.054
34	0.2945	6.6665	-0.0565
35	-0.761	5.8245	-0.0655



36	-1.209	6.1835	0.0805
37	0.2055	6.734	0.091
38	0.616	5.9775	-0.088
39	-1.5255	5.8355	-0.1015
40	0.0445	6.446	0.1575
41	0.1505	6.452	-0.049
42	-0.0895	6.0515	-0.1625
43	-1.271	5.8195	0.098
44	-0.5745	6.225	0.079
45	0.706	6.3205	-0.0225
46	-0.312	6.2925	-0.101
47	-1.1065	5.559	0.045
48	-0.3645	6.3955	0.0945
49	0.5515	6.761	0.0005
50	-0.2235	6.0135	-0.1055
51	-1.312	5.8785	-0.003
52	-0.219	6.477	0.101
53	0.4375	6.6375	-0.015
54	-0.5855	6.1065	-0.155
55	-1.0925	6.183	0.06
56	-0.5045	6.46	0.087
57	0.332	6.669	-0.064
58	-0.3625	6.246	-0.0695
59	-1.2705	5.89	0.0505
60	-0.305	6.4575	0.0785

Lampiran J-Variasi 10 (H=0.4 m , T=0.4 s ,  $\mu=90^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.6945	6.212	-0.007
2	-0.7495	6.2895	-0.029
3	-0.8	6.3715	-0.0375
4	-0.9945	6.3115	-0.048
5	-0.8655	6.269	-0.0225
6	-0.7255	6.3395	0.0045
7	-0.609	6.467	-0.01
8	-0.7005	6.437	-0.016
9	-0.663	6.414	0.002
10	-0.724	6.53	0.005
11	-0.539	6.633	-0.0095
12	-0.678	6.3965	-0.011
13	-0.702	6.3095	-0.013
14	-0.7175	6.3175	-0.0085
15	-0.8255	6.3395	-0.039
16	-0.767	6.312	-0.027
17	-0.7755	6.3035	-0.0255
18	-1.0075	6.307	-0.022
19	-0.7245	6.4045	-0.0095
20	-0.6845	6.379	-0.0425
21	-0.6565	6.379	-0.0315
22	-0.6985	6.4525	-0.0275
23	-0.778	6.505	-0.0165
24	-0.675	6.477	-0.029
25	-0.4845	6.5145	-0.013
26	-0.6555	6.464	-0.0185
27	-0.769	6.3415	-0.0015
28	-0.6725	6.305	0.009
29	-0.5975	6.302	-0.026
30	-0.849	6.2995	-0.04
31	-1.0445	6.2675	0.002
32	-0.6285	6.3335	-0.0345
33	-0.7805	6.289	0.022
34	-0.7985	6.32	-0.036
35	-0.677	6.415	-0.0365

36	-0.527	6.539	-0.0085
37	-0.254	6.5325	-0.0325
38	-0.5095	6.5355	-0.027
39	-0.4235	6.4245	-0.0185
40	-0.2935	6.362	0.0075
41	-0.542	6.294	-0.0565
42	-1.0505	6.48	0.011
43	-0.543	6.5695	0.012
44	-0.165	6.201	-0.015
45	-0.307	6.103	-0.0305
46	-0.7865	6.3155	-0.015
47	0.104	6.531	0.01
48	0.232	6.1805	-0.0345
49	-0.435	6.2735	-0.0535
50	-0.7955	6.4255	0.0295
51	-0.436	6.501	-0.0345
52	-0.501	6.368	0.012
53	-0.7825	6.437	-0.016
54	-0.6415	6.5405	-0.026
55	-0.44	6.443	0.033
56	-0.2685	6.2105	-0.024
57	-0.3265	6.3435	-0.0095
58	-0.0235	6.7135	-0.033
59	-0.17	6.268	-0.0005
60	-0.3995	6.163	-0.0245

Lampiran K-Variasi 11 (H=0.4 m , T=0.6 s ,  $\mu=90^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.6985	6.629	-0.008
2	-0.4135	6.4765	-0.0175
3	-0.565	6.4935	-0.0035
4	-0.615	6.2355	-0.0235
5	-0.5905	6.386	-0.037
6	-0.5775	6.287	-0.015
7	-0.739	6.267	0.0005
8	-0.7375	6.464	-0.0475
9	-0.6645	6.4765	-0.007
10	-0.6615	6.246	-0.039
11	-0.7195	6.3515	-0.0245
12	-0.7925	6.578	-0.0405
13	-0.7505	6.378	-0.0555
14	-0.712	6.2665	-0.042
15	-0.8135	6.3205	0.0245
16	-0.811	6.4325	-0.003
17	-0.641	6.356	-0.0115
18	-0.785	6.2225	0.005
19	-0.861	6.3975	-0.01
20	-0.6625	6.4405	-0.0105
21	-0.642	6.1795	-0.0255
22	-0.92	6.2655	-0.011
23	-0.7405	6.402	-0.011
24	-0.4655	6.3075	-0.068
25	-0.001	6.157	0.146
26	3.304	7.2595	-0.0825
27	3.252	6.64	0.2415
28	1.5395	6.742	0.2805
29	4.2065	7.266	-0.0465
30	0.3905	6.349	0.1625
31	1.162	5.9575	0.074
32	5.668	8.376	-0.071
33	2.937	6.1155	0.329
34	0.3265	6.77	-0.034
35	1.469	7.3975	-0.1785

36	3.68	6.926	0.3215
37	2.6055	7.128	0.107
38	1.8285	7.6805	-0.1575
39	3.4465	7.02	0.2385
40	2.82	7.4005	0.106
41	3.017	7.316	-0.0995
42	0.56	6.871	0.4475
43	1.955	7.856	-0.0485
44	6.1615	7.4495	-0.0655
45	2.8125	7.498	0.344
46	1.7045	7.907	-0.0445
47	0.6505	7.0715	-0.028
48	3.526	7.725	-0.072
49	5.582	8.5655	-0.019
50	2.229	6.1685	0.1375
51	-0.5415	6.9295	-0.145
52	4.3225	8.3135	0.1115
53	2.525	7.77	0.1345
54	2.3055	7.663	0.078
55	0.8595	7.7285	-0.0475
56	3.0815	8.188	0.1345
57	3.6695	7.671	0.181
58	4.3535	8.2285	-0.047
59	2.754	8.3315	-0.29
60	1.8095	7.946	-0.047

Lampiran L-Variasi 12 (H=0.4 m , T=0.8 s ,  $\mu=90^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.636	4.1485	-0.036
2	-0.4	4.0765	-0.0465
3	-0.7005	4.2035	0.0155
4	-0.4195	4.2185	-0.023
5	-0.4595	3.9245	-0.009
6	-0.5915	4.2185	-0.0365
7	-0.624	4.318	-0.0185
8	-0.4735	3.934	-0.0085
9	-0.537	4.0205	-0.024
10	-0.5445	4.496	-0.015
11	-0.4345	4.243	-0.0115
12	-0.5565	4.272	-0.011
13	-0.4845	4.2875	0.007
14	-0.4295	4.358	-0.014
15	-0.5275	4.156	-0.0245
16	-0.435	4.248	-0.0145
17	-0.5765	4.315	-0.029
18	-0.4895	4.072	-0.024
19	-0.5465	4.3945	-0.0025
20	-0.4195	4.262	0.0165
21	-0.4995	4.145	-0.0065
22	-0.539	4.2385	-0.041
23	-0.424	4.3375	-0.023
24	-0.6005	4.1505	0.0265
25	-0.487	4.059	-0.0045
26	-0.555	4.267	-0.0025
27	-0.548	4.2435	-0.002
28	-0.5205	4.133	-0.036
29	-0.5385	4.149	-0.031
30	-0.5145	4.0615	-0.0145
31	-0.612	4.1095	-0.0125
32	-0.463	4.3565	-0.0395
33	-0.6455	4.104	-0.01
34	-0.4665	3.991	-0.044
35	-0.5085	4.274	-0.019

36	-0.4965	4.2615	-0.078
37	-0.6395	3.9455	-0.031
38	-0.562	4.144	-0.0215
39	-0.536	4.1885	-0.0295
40	-0.531	4.0955	-0.0125
41	-0.6255	4.254	-0.0065
42	-0.4525	4.178	-0.004
43	-0.52	4.0155	-0.0205
44	-0.428	4.28	-0.025
45	-0.6235	4.3085	0.021
46	-0.4305	4.287	-0.027
47	-0.426	4.218	-0.005
48	-0.592	4.245	-0.035
49	-0.4485	4.3805	-0.0215
50	-0.4305	4.1845	-0.0475
51	-0.47	4.4525	-0.017
52	-0.4465	4.367	-0.0445
53	-0.534	4.429	-0.042
54	-0.387	4.382	-0.047
55	-0.5025	4.405	-0.0285
56	-0.5905	4.333	0.0115
57	-0.4115	4.2455	-0.0135
58	-0.4275	4.3055	-0.0485
59	-0.5255	4.3515	-0.0095
60	-0.517	4.169	-0.038

Lampiran M-Variasi 13 (H=0.2 m , T=0.4 s ,  $\mu=45^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.636	4.1485	-0.036
2	-0.4	4.0765	-0.0465
3	-0.7005	4.2035	0.0155
4	-0.4195	4.2185	-0.023
5	-0.4595	3.9245	-0.009
6	-0.5915	4.2185	-0.0365
7	-0.624	4.318	-0.0185
8	-0.4735	3.934	-0.0085
9	-0.537	4.0205	-0.024
10	-0.5445	4.496	-0.015
11	-0.4345	4.243	-0.0115
12	-0.5565	4.272	-0.011
13	-0.4845	4.2875	0.007
14	-0.4295	4.358	-0.014
15	-0.5275	4.156	-0.0245
16	-0.435	4.248	-0.0145
17	-0.5765	4.315	-0.029
18	-0.4895	4.072	-0.024
19	-0.5465	4.3945	-0.0025
20	-0.4195	4.262	0.0165
21	-0.4995	4.145	-0.0065
22	-0.539	4.2385	-0.041
23	-0.424	4.3375	-0.023
24	-0.6005	4.1505	0.0265
25	-0.487	4.059	-0.0045
26	-0.555	4.267	-0.0025
27	-0.548	4.2435	-0.002
28	-0.5205	4.133	-0.036
29	-0.5385	4.149	-0.031
30	-0.5145	4.0615	-0.0145
31	-0.612	4.1095	-0.0125
32	-0.463	4.3565	-0.0395
33	-0.6455	4.104	-0.01
34	-0.4665	3.991	-0.044
35	-0.5085	4.274	-0.019



36	-0.4965	4.2615	-0.078
37	-0.6395	3.9455	-0.031
38	-0.562	4.144	-0.0215
39	-0.536	4.1885	-0.0295
40	-0.531	4.0955	-0.0125
41	-0.6255	4.254	-0.0065
42	-0.4525	4.178	-0.004
43	-0.52	4.0155	-0.0205
44	-0.428	4.28	-0.025
45	-0.6235	4.3085	0.021
46	-0.4305	4.287	-0.027
47	-0.426	4.218	-0.005
48	-0.592	4.245	-0.035
49	-0.4485	4.3805	-0.0215
50	-0.4305	4.1845	-0.0475
51	-0.47	4.4525	-0.017
52	-0.4465	4.367	-0.0445
53	-0.534	4.429	-0.042
54	-0.387	4.382	-0.047
55	-0.5025	4.405	-0.0285
56	-0.5905	4.333	0.0115
57	-0.4115	4.2455	-0.0135
58	-0.4275	4.3055	-0.0485
59	-0.5255	4.3515	-0.0095
60	-0.517	4.169	-0.038

Lampiran N-**Variasi 14** (H=0.2 m , T=0.6 s ,  $\mu=45^\circ$ )

<b>Waktu (sekon)</b>	<b>Roll (deg)</b>	<b>Pitch(deg)</b>	<b>Heave Displacement (m)</b>
1	-0.52	4.297	-0.027
2	-0.4595	4.334	-0.0505
3	-0.4645	4.1555	-0.0055
4	-0.4605	4.134	0.012
5	-0.5275	4.3045	-0.0005
6	-0.4505	4.2135	0.0065
7	-0.4705	4.092	-0.026
8	-0.488	4.2295	-0.032
9	-0.4785	4.297	-0.0155
10	-0.383	3.841	-0.0125
11	-0.508	4.219	-0.027
12	-0.439	4.219	-0.058
13	-0.486	4.107	-0.049
14	-0.4995	4.239	-0.0495
15	-0.4985	4.2785	-0.028
16	-0.477	4.1785	-0.0295
17	-0.473	4.15	0.0065
18	-0.523	4.22	-0.0205
19	-0.513	4.324	-0.0605
20	-0.5055	4.1515	-0.006
21	-0.564	4.2065	-0.057
22	-0.2735	4.202	-0.021
23	-0.8375	4.171	0.0705
24	-0.5885	4.282	-0.1205
25	-0.1045	3.994	0.011
26	-1.0595	4.1905	0.071
27	-0.0835	4.969	-0.1175
28	-0.486	6.206	0.0825
29	-0.864	5.558	0.026
30	-0.2775	4.387	-0.08
31	0.1675	4.14	0.1125
32	-0.9405	4.228	0.054
33	0.0125	4.433	-0.106
34	-0.521	3.917	0.0745
35	-1.151	4.2035	0.0275

36	-0.2545	4.3575	-0.1385
37	-0.868	4.484	0.0935
38	-0.6905	5.3845	-0.019
39	-0.1855	7.13	0.02
40	-0.49	3.9905	0.1155
41	-0.7085	4.237	-0.024
42	-0.069	4.215	-0.0495
43	0.016	4.501	0.085
44	-1.001	4.442	0.0055
45	-0.0155	4.553	-0.106
46	-0.8595	4.201	0.068
47	-0.707	4.329	-0.0275
48	-0.399	6.394	-0.0615
49	-0.633	4.9345	0.1235
50	-0.73	5.0035	0.004
51	0.0025	4.107	-0.087
52	-0.2195	4.03	0.1045
53	-1.3005	4.4675	-0.0025
54	-0.618	4.2875	-0.046
55	-0.17	4.0935	-0.029
56	-1.0575	4.629	0.0755
57	-0.3075	5.1605	-0.1175
58	-0.9205	4.611	0.0185
59	-0.466	4.652	0.0945
60	-0.615	5.24	-0.0855

Lampiran O-Variasi 15 (H=0.2 m , T=0.8 s ,  $\mu=45^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.426	4.3285	0.0175
2	-0.798	4.2865	0.001
3	-0.2115	4.2225	-0.0385
4	-0.585	4.297	-0.029
5	-0.576	4.1035	0.0315
6	-0.408	4.174	-0.013
7	-0.5035	4.251	-0.012
8	-0.4775	4.05	0.0155
9	-0.569	4.1935	-0.007
10	-0.442	4.268	0.009
11	-0.556	4.1565	0.008
12	-0.3525	4.148	-0.009
13	-0.723	4.3475	-0.016
14	-0.587	4.131	-0.0125
15	-0.1985	4.2895	-0.042
16	-0.635	4.1735	-0.0345
17	-1.122	3.796	0.009
18	-0.3065	4.008	0.079
19	-0.119	4.965	-0.0765
20	-1.2175	4.947	-0.013
21	-1.1595	3.473	0.065
22	-0.099	3.859	0.1145
23	-0.4435	5.364	-0.0395
24	- 0.809415	4.131	-0.0925
25	-0.7235	2.7515	0.147
26	-0.378	4.5515	0.077
27	-0.298	5.666	-0.046
28	-0.9155	4.391	-0.0165
29	-1.0025	3.276	0.1055
30	-0.505	4.821	0.0475
31	-0.113	5.4175	-0.076
32	-0.8695	3.829	0.0125
33	-1.1305	2.9225	0.0935
34	-0.0965	4.7425	0.0935
35	-0.3045	5.7775	-0.019

36	-1.047	4.3655	-0.007
37	-0.9645	3.2165	0.081
38	-0.211	4.8535	0.1155
39	-0.372	5.9595	-0.022
40	-0.938	4.001	0.0065
41	-0.98	2.792	0.082
42	-0.3485	4.4855	0.015
43	-0.2375	5.5875	-0.014
44	-1.22	4.36	0.051
45	-0.9265	2.963	0.0615
46	-0.208	4.664	0.072
47	-0.119	5.8885	0.014
48	-1.2845	4.0515	0.0275
49	-1.0625	2.9885	0.0615
50	-0.069	4.8135	0.097
51	-0.273	5.8015	0.003
52	-1.091	3.905	-1.31839E-17
53	-0.9985	2.832	0.1075
54	-0.3005	4.6765	0.0745
55	-0.166	5.742	-0.036
56	-1.106	3.9535	0.0035
57	-1.094	2.925	0.1205
58	-0.194	4.839	0.051
59	-0.038	5.633	-0.056
60	-1.3445	3.9975	0.0515

Lampiran P-Variasi 16 (H=0.4 m , T=0.4 s ,  $\mu=45^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.282	4.3245	0.004
2	-0.6215	3.7715	-0.014
3	-0.6395	4.1195	-0.0245
4	-0.29	4.7085	-0.001
5	-0.194	4.305	0.001
6	-0.6645	3.7065	0.006
7	-0.658	4.108	-0.0495
8	-0.297	4.6465	-0.0135
9	-0.2865	4.26	0.0405
10	-0.571	3.7865	-0.0155
11	-0.685	4.1825	-0.0045
12	-0.312	4.635	-0.05
13	-0.269	4.1685	-0.0305
14	-0.565	3.7425	-0.024
15	-0.677	4.403	0.01
16	-0.421	4.6325	-0.003
17	-0.274	3.866	0.013
18	-0.606	3.8315	0.011
19	-0.6555	4.4695	-0.0355
20	-0.3985	4.393	-0.016
21	-0.343	3.8995	-0.0775
22	-0.5345	3.984	-0.0215
23	-0.626	4.5115	-0.001
24	-0.2895	4.3655	-0.0245
25	-0.5415	3.954	-0.0195
26	-0.6225	4.4865	-0.009
27	-0.3935	4.388	0.002
28	-0.372	3.85	-0.0045
29	-0.522	3.9835	0.001
30	-0.5065	4.475	-0.0115
31	-0.4905	4.3815	-0.0415
32	-0.4475	3.7575	0.016
33	-0.356	3.8935	0.014
34	-0.6125	4.608	-0.0555
35	-0.669	4.277	0.008

36	-0.1135	4.0425	0.0125
37	-0.3105	4.542	-0.026
38	-0.686	4.381	-0.049
39	-0.549	4.426	0.0455
40	-0.155	4.775	-0.03
41	-0.0805	4.5285	-0.0705
42	-0.819	4.507	-0.0075
43	-0.4695	4.5745	0.0015
44	0.01	4.994	-0.0395
45	-0.4115	4.071	-0.0525
46	-0.835	4.2505	-0.011
47	-0.282	5.461	0.003
48	-0.297	4.7115	-0.0445
49	-0.5135	4.476	-0.0245
50	-0.7215	4.688	0.0385
51	-0.4605	4.941	-0.0035
52	-0.195	4.2435	-0.05
53	-0.359	3.9945	0.023
54	-0.6535	4.858	0.026
55	-0.418	4.9975	-0.0265
56	-0.426	4.1735	-0.026
57	-0.6085	4.4385	0.0215
58	-0.4015	5.1565	-0.019
59	-0.3635	4.524	-0.0485
60	-0.354	4.194	0.0025

**Lampiran Q-Variasi 17 (H=0.4 m , T=0.6 s ,  $\mu=45^\circ$ )**

<b>Waktu (sekon)</b>	<b>Roll (deg)</b>	<b>Pitch(deg)</b>	<b>Heave Displacement (m)</b>
1	-0.2865	4.556	-0.0415
2	-0.606	4.322	-0.0035
3	-0.4455	4.063	-0.019
4	-0.381	4.138	-0.018
5	-0.451	4.186	-0.0305
6	-0.563	4.1885	-0.011
7	-0.499	4.2065	-0.0295
8	-0.2685	4.2585	-0.009
9	-0.524	4.294	-0.011
10	-0.5155	4.2875	-0.0185
11	-0.487	4.195	-0.0145
12	-0.49	4.237	-0.009
13	-0.3805	4.2905	-0.0565
14	-0.521	4.2685	-0.018
15	-0.4955	4.1995	0.0075
16	-0.421	4.183	-0.022
17	-0.3895	4.295	-0.0625
18	-0.601	4.248	0.0305
19	-0.4595	4.225	-0.0355
20	-0.5045	4.294	-0.024
21	-0.4765	4.272	0.0235
22	-0.4475	4.168	-0.042
23	-0.4765	4.1	0.0335
24	-0.6435	4.6465	-0.102
25	-0.2565	4.364	0.244
26	-0.3385	5.536	-0.093
27	0.043	7.982	0.1055
28	-0.9755	5.5755	0.2235
29	-0.7625	5.6125	-0.1605
30	0.564	6.2265	0.012
31	-0.5585	6.0785	0.292
32	-0.217	7.5265	-0.1425
33	-0.414	6.0385	0.1485
34	-0.7435	5.091	0.219
35	0.061	6.4455	-0.1385



36	0.9625	7.3645	0.2165
37	-1.573	6.1705	0.166
38	-1.082	7.763	-0.1525
39	0.4805	6.4075	0.161
40	-0.9895	6.034	0.1955
41	-0.324	7.419	-0.1805
42	0.417	7.4205	0.232
43	-0.7855	6.123	0.1555
44	-0.5965	7.915	-0.17
45	-0.1225	6.54	0.2475
46	-0.4685	6.5085	0.118
47	-0.298	7.825	-0.162
48	-0.302	6.6255	0.24
49	-1.039	6.1075	0.1075
50	-0.022	7.54	-0.1325
51	0.113	6.509	0.2455
52	-0.812	5.953	0.051
53	-0.3975	7.9725	-0.1215
54	-0.0285	6.039	0.2525
55	-0.4275	6.0065	0.043
56	-0.2045	8.4505	-0.0845
57	-0.792	6.0275	0.2315
58	-0.7055	5.7015	0.074
59	1.0585	7.246	-0.176
60	0.154	5.631	0.351

Lampiran R-Variasi 18 (H=0.4 m , T=0.8 s ,  $\mu=45^\circ$ )

Waktu (sekon)	Roll (deg)	Pitch(deg)	Heave Displacement (m)
1	-0.6945	4.5095	-0.015
2	-0.5535	4.479	-0.026
3	-0.2275	4.1665	-0.021
4	-0.6125	4.316	-0.0385
5	-0.651	4.4465	-0.023
6	-0.5535	4.023	-0.0245
7	-0.2645	4.341	-0.0465
8	-0.752	4.4095	0.0235
9	-0.3345	4.4045	0.022
10	-0.524	4.3745	-0.006
11	-0.3285	4.045	-0.038
12	0.0135	4.51	-0.0005
13	-0.2655	4.339	-0.047
14	-0.318	4.0255	-0.0385
15	-0.3925	5.728	-0.1105
16	-0.889	4.4305	-0.037
17	-0.7855	4.092	0.294
18	-0.4115	8.324	0.104
19	-0.7375	6.2275	-0.0435
20	-1.4615	2.808	0.2345
21	0.877	8.231	0.165
22	-0.4915	6.161	-0.1465
23	-1.66	3.85	0.24
24	-0.338	7.3965	0.299
25	0.183	7.3535	-0.058
26	-0.9215	3.882	-0.078
27	-1.8445	3.3675	0.322
28	-0.666	6.2445	0.2665
29	-0.0795	7.313	-0.1455
30	-1.1605	4.1575	0.0555
31	-0.4785	5.0385	0.292
32	-0.175	7.631	-0.0225
33	-0.519	5.7205	-0.0745
34	-1.689	3.2285	0.192
35	-0.952	4.605	0.27

36	0.342	7.0615	0.089
37	-0.6675	6.222	-0.053
38	-1.216	3.1115	0.144
39	-0.221	6.7335	0.2545
40	-0.1425	7.149	-0.1355
41	-1.2345	3.832	-0.014
42	-1.2645	3.5315	0.33
43	0.324	6.773	0.1235
44	-0.183	6.5925	-0.155
45	-1.557	3.2205	0.127
46	-0.6955	4.9485	0.3625
47	-0.0645	7.5155	0.014
48	-0.525	5.303	-0.1
49	-1.7925	2.8975	0.138
50	-0.3835	5.7895	0.3485
51	0.1755	6.825	-0.0785
52	-1.151	4.802	-0.051
53	-1.2165	2.963	0.1985
54	-1.095	5.863	0.3695
55	0.256	6.997	-0.1295
56	-0.9965	4.481	-0.0995
57	-1.5955	2.886	0.2485
58	-0.263	5.2775	0.2565
59	-0.099	7.009	-0.048
60	-0.934	4.96	-0.092

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 11 April 1996. Merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Klampis Ngasem I/246 Surabaya, SMP 6 Negeri Surabaya, SMA Taruna Nusantara Magelang dan SMAS Alam Insan Mulia Surabaya. Penulis diterima di kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember-Departemen Teknik Sistem Perkapalan Tahun 2014. Selama masa perkuliahan penulis aktif di berbagai konferensi ilmiah salah satunya adalah *International Conference on Ocean Energy* (ICOE) 2018 di Cherbourg, Prancis. Pada tahun 2018 penulis menyelesaikan studi Strata-1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS. Penulis bisa dihubungi di alamat email [rachmattr@gmail.com](mailto:rachmattr@gmail.com).